



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS KEKUATAN PADA KONTRUKSI BOLDER FSO LADINDA AKIBAT PENGARUH *TANDEM* *OFFLOADING PROCESS*

RAHMAT NOPIAN

NRP. 4310100029

Dosen Pembimbing :

NurSYahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - MO141326

TECHNICAL ANALYSIS ON BOLDER CONSTRUCTION OF FSO LADINDA IN RESPONSE TO EFFECT OF TANDEM OFFLOADING PROCESSES

RAHMAT NOPIAN

NRP. 4310100029

Supervisors:

NurSYahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

SepuluhNopember Institute of Technology

Surabaya 2016

**ANALISIS KEKUATAN PADA KONTRUKSI BOLDER FSO LADINDA
AKIBAT PENGARUH TANDEM OFFLOADING PROCESS**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh

Rahmat Nopian

NRP. 4310 100 029

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni., ST., MT., Ph.D (Pembimbing 1)

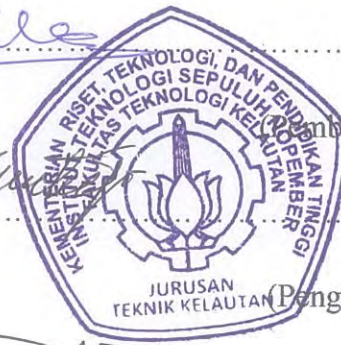
2. Ir. Mas Murtedjo., M.Eng (Pembimbing 2)

3. Yoyok Setyo H. ST., MT.Ph.D (Penguji 1)

4. Ir. Handayanu., M.Sc.Ph.D (Penguji 2)

5. Ir. Imam Rochani, M. Sc (Penguji 3)

6. Ir. Joswan JS., M.Sc (Penguji 4)



ANALISIS KEKUATAN PADA KONTRUKSI BOLDER FSO LADINDA AKIBAT PENGARUH *TANDEM OFFLOADING PROCESS*

Nama Mahasiswa : Rahmat Nopian
NRP : 4310 100 029
Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph. D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

ABSTRAK

FSO Ladinda merupakan hasil konversi dari kapal tanker yang dibangun tahun 1974 dan berubah fungsi sebagai FSO pada tahun 1984. Sejak tahun 1984 FSO ini mulai beroperasi di Selat Lalang, Malaka Strait, Riau. Sistem tambat yang digunakan untuk penambatan FSO Ladinda adalah SPOLS (*Single Point Offshore Loading System*) yang menggunakan sistem tambat *Tower Yoke Mooring System* dengan *Mooring Tower* sebagai tambatan yang dihubungkan dengan *Yoke Arm* dan terdapat *turntable* yang berfungsi sebagai engsel agar FSO dapat bergerak sesuai dengan gerakan gelombang tanpa membuat FSO itu sendiri terlepas. Variasi proses *offloading system* pada FSO Ladinda dengan *shuttle tanker* sangat dibutuhkan apabila nantinya terjadi sesuatu. Pada kasus ini *offloading process* yang dianalisa adalah metode tandem dengan tali tambat berupa hawser pada bolder bagian belakang FSO Ladinda. Respon gerak FSO Ladinda ditinjau pada kondisi *full load* dan *light load* pada heading 0^0 , 45^0 , 90^0 , 180^0 . Respon gerak translasi FSO terbesar adalah gerakan *sway* sebesar 3.146 m/m, sedangkan untuk gerak rotasi adalah gerakan *roll* sebesar 5.991 deg/m dalam kondisi *light load*. Respon gerak FSO mengakibatkan *tension* maksimum terjadi pada *hawser*. Analisis *tension* maksimum pada *hawser* dilakukan pada kondisi *full load* dan *light load* pada heading 0^0 , 45^0 , 90^0 , dan 180^0 sesuai yang dianjurkan oleh OCIMF. Hasil *tension* maksimum yang terjadi pada *line 1* pada heading 45^0 sebesar 864.656 kN saat kondisi 2. *Tension* maksimum pada *hawser* mengakibatkan tegangan maksimum pada konstruksi dudukan *bollard*. Tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi dudukan *bollard* bagian belakang yaitu 205.15 MPa, dan deformasi maksimumnya 0.71924 mm terjadi pada konstruksi *bollard* bagian atas. Tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi 90% tegangan *yield* (225 MPa), dan deformasi maksimum yang terjadi juga tidak lebih dari 6 mm sesuai dengan standar keamanan dari ABS.

Kata Kunci : *bollard*, FSO, *hawser*, tegangan lokal

TECHNICAL ANALYSIS ON BOLDER CONSTRUCTION OF FSO LADINDA IN RESPONSE TO EFFECT OF TANDEM OFFLOADING PROCESSES

Name : RahmatNopian
NRP : 4310 100 029
Department : Ocean Engineering – FTK ITS
Supervisors : NurSyahroni, S.T., M.T., Ph. D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

ABSTRACT

FSO Ladinda is a conversion product of tanker vessel that was built in 1974 and functionally turned out as to be FSO in 1984. Since 1984, this FSO has been operating around Selat Lalang, Malaka Strait, Riau. Mooring system which has been applied since then for FSO Ladinda is Single Point Offshore Loading System (SPOLS) that utilises Tower Yoke Mooring System with Mooring Tower applied as mooring connected to Yoke Arm and turntable which its function as to be a joint to enable FSO moving accordingly to wave motion with no detaching of FSO itself. Variation of offloading system's processes of FSO Ladinda by using shuttle tanker is rather necessary when a particular condition appears. In this case, analysed offloading processes were tandem method using mooring rope, hawser, upon rear section of FSO Ladinda's bolder. Motion responses of FSO Ladinda were examined within full load and light load conditions through heading of 0° , 45° , 90° , 180° . Major translational motion response expressed on sway movement by as much as 3.146 m/m, while significance effect of rotation movement recorded was on roll movement at 5.991 deg/m during light load condition. FSO's motion responses had caused maximum tension in which occurred on hawser. Analysis of maximum tension on hawser conducted during full load and light load conditions through heading of 0° , 45° , 90° , 180° , as it is recommended by OCIMF. Result of maximum tension that experienced in line 1 upon 45° heading was 864.656 kN during condition 2. Maximum tension on hawser had engendered maximum tension upon bollard mounting construction. Maximum tension upon rear construction of bollard mounting was 205.15 MPa and its maximum deformation by as much as 0.71924 mm appeared on upper construction of bollard. Maximum tension's occurrences were not exceeding 90% yield stress (225 MPa), and maximum deformation that either had emerged were not more than 6 mm in regard to safety standard of ABS.

Keywords: *bollard, FSO, hawser, local stress.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas segala nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **ANALISIS KEKUATAN PADA KONTRUKSI *BOLDER* FSO LADINDA AKIBAT PENGARUH *TANDEM OFFLOADING PROCESS*** dengan lancar. Laporan tugas akhir ini disusun untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Laporan ini berisi tentang analisis kekuatan konstruksi *bollard* akibat beban gaya tarik maksimum pada *hawser* yang mengenainya. Diharapkan dengan selesainya laporan tugas akhir ini dapat memberikan kebermanfaatan pengetahuan tentang rekayasa teknologi kelautan dan industri kemaritiman. Penulisan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bahan koreksi untuk penulisan laporan selanjutnya agar lebih baik. Penulis juga berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya, dan bagi penulis pada khususnya.

Surabaya, Januari 2016

Rahmat Nopian

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada bagian ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran proses pengerjaan tugas akhir ini. Penulis ingin berterima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahannya dalam pengerjaan tugas akhir.
2. Ayah dan Ibu yang senantiasa memberikan doa dan dukungan.
3. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph. D selaku dosen pembimbing I yang sabar membimbing penulis hingga selesainya tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Murtedjo M. Eng. selaku dosen pembimbing II beserta seluruh pihak PT. Citramas yang telah membimbing dan membantu dalam menentukan topik dari tugas akhir penulis, membimbing penulis, serta mengizinkan penulis menggunakan fasilitas kantor untuk kelancaran tugas akhir ini.
5. Bapak Rudi Walujo P, ST., M.T., Dr. Eng. selaku ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS Surabaya.
6. Bapak Ir. Imam Rochani, M. Sc., selaku dosen wali selama perkuliahan selalu membimbing dengan sepenuh hati.
7. Yani nurlita, Hamzah dan Yuni Ari Wibowo yang telah membantu penulis memahami tentang konstruksi kapal.
9. Keluarga besar Angkatan 2010 Jurusan Teknik Kelautan, terimakasih atas kebersamaan selama 4 tahun masa perkuliahan.
10. Rekan-rekan alumni pengurus *Society Petroleum Engineer* ITS SC tahun 2013 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
11. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Teori Gerak Kapal.....	9
2.2.2 Gaya Gelombang.....	10
2.2.3 Heading Kapal Terhadap Arah gelombang.....	11
2.2.4 Gerakan <i>Surge</i> Murni.....	12
2.2.5 Gerakan <i>Sway</i> Murni.....	12
2.2.6 Gerakan <i>Heave</i> Murni	13
2.2.7 Gerakan <i>Roll</i> Murni	14
2.2.8 Gerakan <i>Pitch</i> Murni.....	14
2.2.9 Gerakan <i>Yaw</i> Murni	15
2.2.10 Gerakan <i>Couple Six Degree of Freedom</i>	16
2.2.11 <i>Offloading Process</i>	16
2.2.12 Sistem Tambat.....	18
2.2.13 Response Amplitudo Operator.....	19
2.2.14 Analisis Dinamis Berbasis Ranah Frekuensi	20
2.2.15 Spektrum Gelombang.....	21

2.2.16 Analisis Dinamis Berbasis Ranah Waktu	22
2.2.17 Tegangan Geser.....	23
2.2.18 Tegangan <i>Von Misses</i>	24
2.2.19 Tegangan Tali Tambat	26
2.2.20 Tegangan Aksial	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.2 Prosedur Penelitian.....	31
3.3 Pengumpulan Data	33
3.3.1 Sejarah FSO Ladinda	33
3.3.2 Data FSO Ladinda.....	35
3.3.3 Data Shuttle Tanker.....	36
3.3.4 Data Lingkungan.....	37
3.3.5 Sistem Tali Tambat.....	37
3.3.6 Konstruksi Bolder.....	38
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Pemodelan pada <i>Software</i> Maxsurf.....	41
4.2 Analisis Gerakan Struktur Terapung Bebas	52
4.3 Analisis Gerakan Struktur Pada Kondisi Tertambat	64
4.4 Analisis Gerakan Struktur pada Gelombang Acak	79
4.5 Tegangan Tali Tambat (<i>Hawser</i>)	87
4.6 Pemodelan Konstruksi Bollard	89
4.7 Pembebanan pada Analisis Lokal	91
4.8 Meshing dan Sensitivity Analysis.....	91
4.9 Analisa Tegangan Lokal Konstruksi Bollard.....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 FSO Ladinda	1
Gambar 1.2 Mooring FSO Ladinda	2
Gambar 1.3 <i>Tandem Offloading Process</i>	3
Gambar 1.4 Perangkat <i>Spread mooring system</i>	4
Gambar 2.1 Enam derajat kebebasan pada kapal	7
Gambar 2.2 Definisi arah datang gelombang	14
Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan <i>heave</i>	15
Gambar 2.4 Ilustrasi kondisi <i>rolling</i>	16
Gambar 2.5 Ilustrasi kondisi <i>pitch</i>	17
Gambar 2.6 <i>Tower yoke mooring system</i>	21
Gambar 2.7 Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang	26
2.8 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial	29
Gambar 2.9 Tegangan lentur pada suatu penampang	30
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	31
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)	32
Gambar 3.3 <i>Mooring wishbone arm system</i>	35
Gambar 3.4 Perangkat <i>tandem offloading process</i>	41
Gambar 3.5 Kontruksi bolder	41
Gambar 4.1. Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak isometri	42
Gambar 4.2. Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak depan	43
Gambar 4.3. Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak samping	43
Gambar 4.4. Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak atas	44
Gambar 4.5 Hasil <i>output data hidrostatik maxsurf FSO Ladinda Full load</i>	44
Gambar 4.6 Hasil <i>output data hidrostatik maxsurf FSO Ladinda light load</i>	45
Gambar 4.7 Hasil pemodelan Tanker pada Maxsurf tampak isometric	47
Gambar 4.8 Hasil pemodelan Tanker pada Maxsurf tampak depan	47
Gambar 4.9 Hasil pemodelan Tanker pada Maxsurf tampak samping	47
Gambar 4.10 Hasil pemodelan Tanker pada Maxsurf tampak atas	48
Gambar 4.11 Hasil output data hidrostatik dari maxsurf Tanker	49
Gambar 4.12 FSO Ladinda <i>output ANSYS AQWA</i> tampak isometric	50

Gambar 4.13FSO Ladinda <i>output</i> ANSYS AQWA tampak atas.....	50
Gambar 4.14Tanker <i>output</i> ANSYS AQWA tampak isometric.....	50
Gambar 4.15Tanker <i>output</i> ANSYS AQWA tampak atas.....	50
Gambar 4.16Maxsurf Lines Plan FSO Ladinda.....	51
Gambar 4.17Maxsurf Lines Plan Tanker MS Pacific Leo.....	51
Gambar 4.18Grafik RAOsurge FSO Ladinda <i>full load</i>	52
Gambar 4.19Grafik RAOgerakan sway FSO Ladinda <i>full load</i>	53
Gambar 4.20Grafik RAOgerakan heave FSO Ladinda <i>full load</i>	53
Gambar 4.21 Grafik RAOgerakan roll FSO Ladinda <i>full load</i>	54
Gambar 4.22Grafik RAOgerakan pitch FSO Ladinda <i>full load</i>	54
Gambar 4.23Grafik RAOgerakan yaw FSO Ladinda <i>full load</i>	54
Gambar 4.24Grafik RAOgerakan surge FSO Ladinda <i>light condition</i>	55
Gambar 4.25Grafik RAOgerakan sway FSO Ladinda <i>light condition</i>	56
Gambar 4.26Grafik RAOgerakan heave FSO Ladinda <i>light condition</i>	56
Gambar 4.27Grafik RAOgerakan roll FSO Ladinda <i>light condition</i>	57
Gambar 4.28Grafik RAOgerakan pitch FSO Ladinda <i>light condition</i>	57
Gambar 4.29Grafik RAOgerakan yaw FSO Ladinda <i>light condition</i>	57
Gambar 4.30Grafik RAO gerakan <i>surge Shuttle Tanker full load</i>	58
Gambar 4.31Grafik RAO gerakan sway <i>Shuttle Tankerfull load</i>	59
Gambar 4.32Grafik RAO gerakan heave <i>Shuttle Tankerfull load</i>	59
Gambar 4.33Grafik RAO gerakan roll <i>Shuttle Tankerfull load</i>	59
Gambar 4.34 Grafik RAO gerakan pitch <i>Shuttle Tankerfull load</i>	60
Gambar 4.35Grafik RAO gerakan yaw <i>Shuttle Tankerfull load</i>	60
Gambar 4.36Grafik RAO gerakan surge <i>Shuttle Tankerlight load</i>	61
Gambar 4.37Grafik RAO gerakan sway <i>Shuttle Tankerlight load</i>	61
Gambar 4.38Grafik RAO gerakan heave <i>Shuttle Tankerlight load</i>	62
Gambar 4.39Grafik RAO gerakan roll <i>Shuttle Tankerlight load</i>	62
Gambar 4.40Grafik RAO gerakan pitch <i>Shuttle Tankerlight load</i>	62
Gambar 4.41Grafik RAO gerakan yaw <i>Shuttle Tankerlight load</i>	63
Gambar 4.42Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 0 ⁰ kondisi <i>full load</i>	64

Gambar 4.43Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 0^0 kondisi <i>full load</i>	64
Gambar 4.44Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 45^0 kondisi <i>full load</i>	65
Gambar 4.45Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 45^0 kondisi <i>full load</i>	65
Gambar 4.46Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi <i>full load</i>	65
Gambar 4.47Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi <i>full load</i>	66
Gambar 4.48Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi <i>full load</i>	66
Gambar 4.49Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi <i>full load</i>	66
Gambar 4.50Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 0^0 kondisi <i>light load</i>	68
Gambar 4.51Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 0^0 kondisi <i>light load</i>	68
Gambar 4.52Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 45^0 kondisi <i>light load</i>	68
Gambar 4.53Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 45^0 kondisi <i>light load</i>	69
Gambar 4.54 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi <i>light load</i>	69
Gambar 4.55 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi <i>light load</i>	69
Gambar 4.56Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi <i>light load</i>	70
Gambar 4.57Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi <i>light load</i>	70
Gambar 4.58Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 0^0 kondisi <i>light</i> <i>load</i>	72

Gambar 4.59Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 0 ⁰ kondisi <i>light load</i>	72
Gambar 4.60Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 45 ⁰ kondisi <i>light load</i>	73
Gambar 4.61Kurva RAO gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 45 ⁰ kondisi <i>light load</i>	73
Gambar 4.62Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 90 ⁰ kondisi <i>light load</i>	73
Gambar 4.63Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 90 ⁰ kondisi <i>light load</i>	74
Gambar 4.64Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 180 ⁰ kondisi <i>light load</i>	74
Gambar 4.65Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 180 ⁰ kondisi <i>light load</i>	74
Gambar 4.66Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 0 ⁰ kondisi <i>full load</i>	75
Gambar 4.67Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 0 ⁰ kondisi <i>full load</i>	76
Gambar 4.68Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 45 ⁰ kondisi <i>full load</i>	76
Gambar 4.69Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 45 ⁰ kondisi <i>full load</i>	76
Gambar 4.70Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 90 ⁰ kondisi <i>full load</i>	77
Gambar 4.71Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 90 ⁰ kondisi <i>full load</i>	77
Gambar 4.72Kurva RAO tertambat gerakan rotasi <i>Shuttle tanker</i> 180 ⁰ kondisi <i>full load</i>	78
Gambar 4.74Spektrum gelombang JONSWAP ($H_s = 2\text{m}$, $T_p = 5\text{s}$)	79
Gambar 4.75 Respon spektra gerakan translasi arah 0 ⁰ kondisi <i>full load</i>	80
Gambar 4.76 Respon spektra gerakan rotasi arah 0 ⁰ kondisi <i>full load</i>	80
Gambar 4.77 Respon spektra gerakan translasi arah 45 ⁰ kondisi <i>full load</i> ..	81
Gambar 4.78 Respon spektra gerakan rotasi arah 45 ⁰ kondisi <i>full load</i>	81

Gambar 4.79 Respon spektra gerakan translasi arah 90^0 kondisi <i>full load</i> ..	81
Gambar 4.80 Respon spektra gerakan rotasi arah 90^0 kondisi <i>full load</i>	82
Gambar 4.81 Respon spektra gerakan translasi arah 180^0 kondisi <i>full load</i>	82
Gambar 4.82 Respon spektra gerakan rotasi arah 180^0 kondisi <i>full load</i>	82
Gambar 4.83 Respon spektra gerakan translasi arah 0^0 kondisi <i>light load</i> ..	83
Gambar 4.84 Respon spektra gerakan rotasi arah 0^0 kondisi <i>light load</i> ..	83
Gambar 4.85 Respon spektra gerakan translasi arah 45^0 kondisi <i>light load</i>	83
Gambar 4.86 Respon spektra gerakan rotasi arah 45^0 kondisi <i>light load</i>	84
Gambar 4.87 Respon spektra gerakan tranlasi arah 90^0 kondisi <i>light load</i>	84
Gambar 4.88 Respon spektra gerakan rotasi arah 90^0 kondisi <i>light load</i>	84
Gambar 4.89 Respon spektra gerakan translasi arah 180^0 kondisi <i>light load</i> ..	85
Gambar 4.90 Respon spektra gerakan rotasi arah 180^0 kondisi <i>light load</i> ..	85
Gambar 4.91Tampak pemodelan Tandem Offloading Process	88
Gambar 4.92Konstruksi <i>bollard</i>	90
Gambar 4.93Hasil pemodelan 3D <i>bollard</i> belakang.....	90
Gambar 4.94Konfigurasi <i>Hawser</i> saat <i>tandem offloading process</i> pada software ANSYS.....	91
Gambar 4.95Model elemen <i>meshing</i> struktur <i>bollard</i> belakang ukuran 22 mm.....	92
Gambar 4.96Model elemen <i>meshing</i> struktur <i>bollard</i> belakang ukuran 22 mm pada ANSYS.....	93
Gambar 4.97Pemodelan kontruksi girder FSO Ladinda bagian belakang.....	93
Gambar 4.98Hasil <i>Stress</i> maksimum <i>Bollard</i> Bagian belakang ..	94
Gambar 4.99 <i>Stress</i> pada konstruksi dudukan <i>bollard</i>	94
Gambar 4.100 <i>Stress</i> pada konstruksi dudukan <i>bollard</i> tampak bagian bawah ...	94
Gambar 4.101Hasil deformasi maksimum <i>bollard</i> bagian belakang	95
Gambar 4.102Pemodelan kontruksi girder tambahan FSO Ladinda bagian belakang	96
Gambar 4.103Hasil <i>Stress</i> maksimum <i>Bollard</i> Bagian belakang	96
Gambar 4.104 <i>Stress</i> pada konstruksi dudukan <i>bollard</i>	97
Gambar 4.105 <i>Stress</i> pada konstruksi dudukan <i>bollard</i> tampak bagian bawah .	97

Gambar 4.106	Hasil deformasi maksimum <i>bollard</i> bagian belakang.	97
--------------	---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama FSO Ladinda.....	35
Tabel 3.2 Ukuran Utama Tanker MS Pacific Leo.....	36
Tabel 3.3 Data Lingkungan di Selat Lalang.....	37
Tabel 3.4 Data <i>Mooring hawser</i>	37
Tabel 3.5 Data Konstruksi bolder	38
Tabel 3.6 Data koordinat konstruksi bolder FSO Ladinda.....	39
Tabel 3.7 Data koordinat Konstruksi bolder <i>Shuttle Tanker</i>	40
Tabel 4.1 Principle Dimension FSO Ladinda	42
Tabel 4.2 Validasi data hidrostatik FSO Ladinda <i>full load condition</i>	45
Tabel 4.3 Validasi data hidrostatik FSO Ladinda <i>light load condition</i>	46
Tabel 4.4 <i>Principle Dimension</i> Tanker M.S. Pacific Leo	46
Tabel 4.5 Validasi data hidrostatik Tanker M.S. Pacific Leo.....	48
Tabel 4.6 Nilai maksimum RAO FSO Ladinda <i>full load condition</i>	55
Tabel 4.7 Nilai maksimum RAO FSO Ladinda <i>light condition</i>	58
Tabel 4.8 Nilai maksimum RAO <i>Shuttle Tanker full condition</i>	60
Tabel 4.9 Nilai maksimum RAO <i>Shuttle Tanker light condition</i>	63
Tabel 4.10 <i>Resume</i> RAO FSO Ladinda kondisi tertambat <i>full load</i>	67
Tabel 4.11 <i>Resume</i> RAO FSO Ladinda kondisi tertambat <i>light load</i>	71
Tabel 4.12 <i>Resume</i> RAO <i>Shuttle Tanker</i> tertambat <i>light load</i>	75
Tabel 4.13 <i>Resume</i> RAO <i>Shuttle Tanker</i> kondisi tertambat <i>full load</i>	78
Tabel 4.14 <i>Resume</i> Respon Struktur kondisi <i>full load</i>	86
Tabel 4.15 <i>Resume</i> Respon Struktur kondisi <i>Light Load</i>	86
Tabel 4.16 Hasil simulasi <i>Tension force</i> pada kondisi 1.....	88
Tabel 4.17 Hasil simulasi <i>Tension force</i> pada kondisi 2.....	88
Tabel 4.18 Nilai <i>Tension force</i> maksimal pada <i>hawser</i>	89
Tabel 4.19 <i>Meshing Sensitivity</i> untuk struktur <i>bollard</i> belakang.....	92

DAFTAR SIMBOL

$a\ddot{x}$: <i>inertial force surge</i>
$b\dot{x}$: <i>damping force surge</i>
cx	: <i>restoring force surge</i>
F_0	: <i>exciting force</i>
ω_e	: frekuensi gelombang papasan
t	: waktu
$a\ddot{y}$: <i>inertial force sway</i>
$b\dot{y}$: <i>damping force sway</i>
cy	: <i>restoring force sway</i>
Δ	: displasmen kapal
G	: titik tangkap gaya berat (titik berat)
B	: titik tangkap gaya tekan keatas (titik <i>bouyancy</i>)
γV	: gaya tekan keatas
W_0L_0	: <i>water line</i> keadaan awal
W_1L_1	: <i>water line</i> keadaan <i>heave</i>
$a_z\ddot{z}$: tambahan gaya tekan keatas karena <i>added mass</i>
z	: besar jarak simpangan <i>heave</i>
$a\ddot{z}$: <i>inertial force</i>
$b\dot{z}$: <i>damping force</i>
cz	: <i>restoring force</i>
M_0	: amplitudo momen eksitasi
$a\ddot{\phi}$: <i>inertial moment roll</i>
$b\dot{\phi}$: <i>damping moment roll</i>
$c\phi$: <i>restoring moment roll</i>
M_0	: amplitudo momen eksitasi
$a\ddot{\theta}$: <i>inertial moment pitch</i>
$b\dot{\theta}$: <i>damping moment pitch</i>
$c\theta$: <i>restoring moment pitch</i>
$a\ddot{\psi}$: <i>inertial moment yaw</i>
$b\dot{\psi}$: <i>damping moment yaw</i>

$c\phi$: restoring moment yaw
M_{jk}	:komponen matriks massa kapal
A_{jk}	:matriks koefisien massa tambah
B_{jk}	:matriks koefisien redaman
C_{jk}	: koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali
F_j	:amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks
D	: kedalaman perairan
λ	:panjang gelombang
$Xp(\omega)$: amplitudo struktur
$\eta(\omega)$: amplitudo gelombang
S_R	: spektrum respon
$S(\omega)$: spektrum gelombang
ω	: frekuensi gelombang
g	: gravitasi bumi
X	: panjang <i>fetch</i>
U_w	: kecepatan angin
Y	: parameter puncak dapat dicari dengan persamaan
T_p	: periode puncak spektra
H_s	: tinggi gelombang signifikan
τ	: parameter bentuk
x	: jarak minimum rantai jangkar
l	: panjang keseluruhan rantai jangkar (m)
h	: jarak titik tumpu (<i>bollard</i>) ke <i>seabed</i>
W	:berat rantai jangkar
σ_0	: tegangan utama yang bekerja pada sumbu
σ_x	: tegangan arah sumbu x
σ_y	: tegangan arah sumbu y
σ_z	:tegangan arah sumbu z
σ_{xy}	: tegangan arah sumbu xy
σ_{xz}	: tegangan arah sumbu xz

- σ_{yz} : tegangan arah sumbu yz
- σ_{eq} : tegangan ekuivalen (*von mises stress*)
- σ_x : tegangan normal sumbu x
- σ_y : tegangan normal sumbu y
- σ_z : tegangan normal sumbu z
- τ_{xy} : tegangan geser bidang yz
- τ_{yz} : tegangan geser bidang zx
- τ_{zx} : tegangan geser bidang xy

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki sumber daya alam yang sangat berpotensi, salah satunya sumber daya alam fosil berupa minyak bumi dan gas. Peningkatan eksplorasi dan produksi minyak bumi dan gas pun terus digalakkan untuk mencapai target produksi. Dalam seminar Petrogas Day (2012), menyatakan bahwa pertumbuhan ini mengejar pertumbuhan konsumsi energi rata-rata yang mencapai 7% dalam 10 tahun terakhir. Semakin meningkatnya kebutuhan dunia akan minyak dan terus berkurangnya sumber minyak yang berada di perairan laut dangkal, berdampak pada semakin pesatnya pencarian sumber minyak di laut dalam. Seiring berjalannya waktu, pengembangan teknologi eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi di perairan dalam wilayah lepas pantai atau *offshore* semakin digencarkan.



Gambar 1.1 FSO Ladinda

(Sumber: www.energi-mp)

Berhubungan dengan hal tersebut, maka dapat dipastikan operator migas akan memerlukan banyak fasilitas marine untuk menunjang kegiatan operasionalnya. Salah satu yang juga mutlak untuk dimiliki bagi operator migas di wilayah *offshore* adalah *Floating Storage and Offloading* (FSO). FSO pada dasarnya adalah bangunan apung (*floating structure*) berbentuk kapal atau tongkang, secara fisik menyerupai tanker namun diam di tempat dan tidak untuk berlayar. FSO umumnya berkapasitas besar karena difungsikan sebagai fasilitas untuk mengakomodasi aktivitas penyimpanan migas di dalam tangki-tangkinya sebelum

produk tersebut ditransfer ke kapal-kapal tangki pengangkut untuk didistribusikan ke daratan.

Sistem tambat yang digunakan untuk penambatan FSO harus mampu menahan beban lingkungan terutama beban gelombang. Sistem tambat yang biasa digunakan yaitu SPM (*Single Point Mooring*). SPM merupakan tipe sistem tambat yang mengikuti kondisi lingkungan (*weathervane*) sehingga dalam operasinya FSO dapat bergerak mengikuti arah gelombang namun tetap tertambat. Sistem tambat SPM juga memudahkan saat proses *offloading side by side* ataupun tandem *offloading*. Sistem mooring SPM yang sering digunakan pada FSO yaitu SALM (*Single Anchored Leg Mooring*), CALM (*Catenary Anchored Leg Mooring*), dan *Turret Mooring*.

Sistem tambat yang terdapat pada FSO Ladinda (Gambar 1.1) saat ini yaitu SPM tipe SPOLS (*Single Point Offshore Loading System*) yang menggunakan sistem tambat *tower yoke mooring system* dengan *mooring tower* sebagai sistem tambatnya yang dihubungkan dengan *yoke arm* dan terdapat *turntable* yang berguna sebagai kunci agar FSO dapat bergerak sesuai dengan gerakan gelombang tanpa membuat FSO itu sendiri terlepas. Jenis mooring ini sangat cocok untuk *shallow draft* dan lebih ekonomis untuk perairan dangkal (Wichers, 2013).



Gambar 1.2 Mooring FSO Ladinda

(sumber: www.energi-mp.com)

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisa tegangan lokal *mooring system equipment* pada FSO Ladinda (Gambar 1.1 dan Gambar 1.2) akibat pengaruh

tandem offloading process (Gambar 1.3). FSO *Ladinda* merupakan konversi dari kapal tanker yang dibangun tahun 1974 dan berubah fungsi sebagai FSO pada tahun 1984. Sejak tahun 1984 kapal tanker konversi ini mulai beroperasi di Selat Lalang, Malaka Strait, Riau. Saat beroperasi FSO ini di tambat dengan menggunakan *tower yoke mooring system* berupa SPOLS (*Single Point Offshore Loading System*) dan untuk operasional *offloading* menggunakan sistem *tandem process*. Karena FSO ini merupakan konversi dari kapal tanker yang sebelumnya tidak terdapat proses *offloading* maupun bongkar muat di perairan lepas pantai, maka diperlukan analisis untuk mengetahui pergerakan dan tegangan yang terjadi pada struktur FSO yang menerima beban paling besar saat proses *tandem offloading process* sehingga dapat dikatakan bahwa struktur tersebut masih aman untuk beroperasi.



Gambar 1.3 *Tandem offloading process*

(sumber: www.zebecmarine.com)

Saat *tandem offloading process* (Gambar 1.3), sistem penambatan antara *shuttle tanker* ke FSO digunakan beberapa perangkat. Awal mulanya tali tambat dipasangkan pada *winch shuttle tanker* yang kemudian tersambung pada *fairlead/bollard shuttle tanker*. Kemudian tali tambat tersebut terhubung pada konstruksi bolder yang merupakan *mooring system equipment* saat proses *offloading* pada FSO *Ladinda*. Konstruksi Bolder ini yang menerima beban yang paling besar saat *tandem offloading process*.



Gambar 1.4 Perangkat saat sistem tandem offloading process

(Sumber: www.pskoma.lt)

Dengan memodelkan FSO dan *shuttle tanker* dalam kondisi *free floating*, akan diketahui respon struktur akibat eksitasi gelombang dari FSO dan *shuttle tanker*. Kemudian dicari *tension hawser* terbesar saat kondisi *tandem offloading process*. Setelah itu, dilakukan analisa kekuatan memanjang kapal untuk mendapatkan *shear force* dan *bending moment* akibat beban gelombang, dari hasil *shear force* dan *bending moment* akan dilakukan analisa distribusi tegangan global akibat pengaruh gerakan struktur. Nilai *tension hawser* terbesar dan distribusi tegangan global tersebut digunakan sebagai beban dalam analisa tegangan lokal pada konstruksi bolder yang merupakan *mooring system equipment* untuk *tandem offloading process* dengan menggunakan metode elemen hingga (FE analysis).

1.2 Perumusan Masalah

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik respon struktur FSO *Ladinda* dan *shuttle tanker* akibat beban lingkungan pada saat *free floating* dan tertambat?
2. Berapa besar *tension hawser* yang menghubungkan antara FSO *Ladinda* dengan *shuttle tanker* ketika *tandem offloading process*?
3. Bagaimana distribusi tegangan dan berapa besar tegangan local maksimum yang terjadi pada konstruksi bolder FSO *Ladinda* akibat pengaruh *tandem offloading process*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung karakteristik respon struktur FSO *Ladinda* dan *shuttle tanker* akibat beban gelombang pada saat *free floating* dan tertambat.

2. Menghitung besar *tension hawser hawser* yang menghubungkan antara FSO *Ladinda* dengan *shuttle tanker* ketika *tandem offloading process*.
3. Menghitung kekuatan pada konstruksi bolder akibat pengaruh beban *tandem offloading process*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi industri eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di Indonesia terutama bagi perusahaan Energi Mega Persada yang memiliki beberapa fasilitas marine sebagai penunjang produksi. Secara spesifik manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui prosedur cara menganalisis dan menghitung karakteristik respon struktur FSO *Ladinda* dan *shuttle tanker* pada saat *free floating* akibat beban gelombang, serta *tension hawser* terbesar yang menghubungkan antara keduanya.
2. Dapat mengetahui besar tegangan pada konstruksi bolder FSO akibat *Tandem Offloading Process*.
3. Dapat mengetahui prosedur cara menganalisis dan menghitung umur kelalahan struktur lokal pada konstruksi bolder FSO.

1.5 Batasan Masalah

Agar lebih memudahkan analisis dan dapat dicapai tujuan yang diharapkan, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini merupakan studi kasus pada Kapal FSO *Ladinda* milik Energi Mega Persada dan Tanker MS Pacific Leo milik CNOOC (*China National Offshore Oil Cooperation*).
2. Arah pembebanan yang dianalisa adalah *head sea*, *beam sea*, dan *following sea*.
3. Gerakan FSO adalah 6 derajat kebebasan.
4. FSO yang di tinjau menggunakan sistem *mooring wishbone arm system attach to tripod SPOLS* pada FSO *Ladinda*.
5. Proses *offloading* dilakukan dengan skema *tandem*.
6. *Riser* tidak dimodelkan dan pergerakan *hose* diabaikan.

7. Analisa stabilitas tidak dilakukan.
8. Skema kondisi yang digunakan saat *tandem offloading process* yaitu
FSO *Full Load* – Tanker *Light Load*, FSO *Light Load* – Tanker *Full Load*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar teori, yaitu hal-hal yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Persamaan-persamaan dan *codes* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian menjelaskan langkah-langkah pengerjaan untuk menyelesaikan tugas akhir ini dan metode-metode yang digunakan.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas permodelan FSO dan *shuttle tanker* dengan menggunakan *software* Maxsurf Pro untuk mengetahui hidrostatik struktur, menggunakan *software* ANSYS 16.0 untuk analisis gerakan FSO dan *shuttle tanker* pada saat *free floating*, analisis gerakan FSO dan *shuttle tanker* pada saat tertambat, dan menggunakan *software* ANSYS 16.0 untuk permodelan konstruksi Bolder pada FSO. Selain hal tersebut, juga dilakukan pembahasan analisis hasil permodelan yang telah dilakukan pada penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

FSO (*Floating Storage and Offloading*) pada dasarnya adalah kapal berlambung tunggal, FSO merupakan struktur terapung yang berfungsi menyimpan dan menyalurkan minyak dan gas bumi tanpa dilengkapi dengan fasilitas pemrosesan. Menurut *OCIMF Tandem Mooring Offloading Guidelines for CTs at F(P)SO Facilities*, FSO serupa dengan FPSO, yang membedakan hanya minyak atau gas tidak diproses di kapal. Jadi, FSO dapat didefinisikan sebagai suatu sistem terapung yang beroperasi untuk:

- Menerima hasil proses *crude oil* atau gas dari fasilitas pemrosesan eksternal,
- Menyimpan *crude oil* yang telah diproses,
- Menyalurkan *crude oil* atau gas ke *shuttle tanker*.

Dengan semakin banyaknya penggunaan FSO di wilayah offshore, maka kebutuhan terhadap jumlah FSO juga akan semakin meningkat. Pengadaan FSO untuk melayani kebutuhan di wilayah offshore dapat dilakukan dengan membangun kapal baru (*new-build*) atau dengan melakukan konversi terhadap kapal-kapal bekas. Kelebihan dan kekurangan dalam bangunan baru atau konversi kapal bekas meliputi biaya dan waktu produksi, desain dan konstruksi kapal, serta penentuan umur lelah kapal. Pengadaan FSO dengan membuat bangunan kapal baru (*new-build*) akan menguntungkan jika FSO digunakan untuk jangka waktu operasional lebih dari 15 tahun. Namun, jika FSO didesain untuk jangka waktu operasional kurang dari 15 tahun, maka pengadaan FSO sebaiknya dilakukan dengan mengonversi kapal bekas. Paik (2007) menyatakan bahwa, kapal-kapal bekas yang biasa dikonversi menjadi FSO adalah kapal tanker karena bentuk lambung kapal tanker sama dengan kapal-kapal yang digunakan sebagai FSO. Kapal-kapal tanker yang dikonversi rata-rata kapal yang berusia tua.

Meskipun bentuk konstruksi lambung yang biasa digunakan sebagai FSO sama dengan bentuk lambung kapal tanker, namun terdapat beberapa perbedaan

diantara keduanya. Kapal tanker umumnya melakukan bongkar muat pada kondisi air tenang di pelabuhan, sementara FSO selalu melakukan bongkar muat di lepas pantai yang kondisinya selalu terkena beban lingkungan yang signifikan, yaitu beban angin dan gelombang. Untuk selanjutnya beban gelombang tersebut akan menjadi beban yang mendominasi pada FSO dan menjadi beban siklis karena sifatnya berulang. Karena sifat FSO yang diam ditempat dan tidak berlayar, maka jumlah beban siklis yang diterima oleh FSO lebih besar daripada jumlah beban siklis yang diterima oleh kapal tanker. Paik (2007) menguraikan tentang metode dalam menentukan desain beban lingkungan dan beban pada saat operasional, beban yang biasa digunakan adalah beban gelombang. Untuk desain beban gelombang pada kapal tanker, beban gelombang yang digunakan adalah gelombang 20 tahunan atau 25 tahunan. Sedangkan desain beban gelombang untuk FSO pada umumnya digunakan beban gelombang 100 tahunan.

Studi kasus yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu FSO *Ladinda* yang merupakan konversi dari kapal tanker. Karena FSO ini merupakan konversi dari kapal tanker yang sebelumnya tidak terdapat proses *offloading* maupun bongkar muat di perairan lepas pantai, maka diperlukan analisis untuk mengetahui pergerakan dan tegangan yang terjadi pada struktur FSO yang menerima beban paling besar saat *offloading process* yaitu *mooring system equipment* sehingga dapat dikatakan bahwa struktur tersebut masih aman untuk beroperasi. Pada tugas akhir ini, skema yang diteliti adalah skema *tandem*. *Mooring* dengan skema *tandem* pada dua buah bangunan apung menunjukkan ketidaklayakan jika kondisi lingkungan yang terjadi sangat ganas.

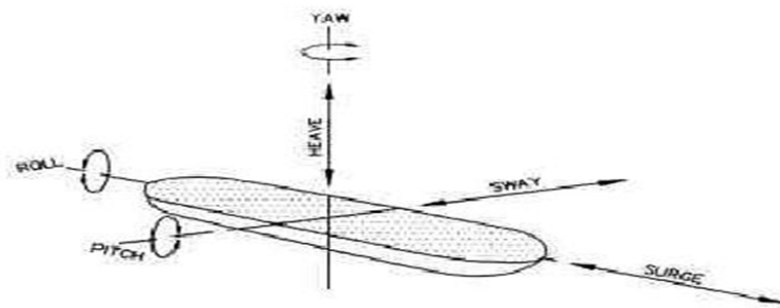
Ada beberapa tujuan pokok dalam analisis *mooring* pada skema *tandem*, yaitu: untuk menentukan gaya tarik tali tambat, gaya yang terjadi pada *fender* antara FSO dengan *Shuttle Tanker*, dan gerakan relatif dari titik tertentu pada bangunan apung yang ditinjau. Kemudian dari beberapa analisis tersebut, didapatkan hasil yang nantinya akan digunakan sebagai *input* desain pada sistem transfer FSO (*hoses* atau *loading arm*), *bollard* atau *fairlead*, dimensi *fender* dan posisi penempatannya (DNV, 2011).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Gerak Kapal

Setiap struktur apung yang bergerak di atas permukaan laut selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri enam macam gerakan dengan tiga gerakan translasional dan tiga gerakan rotasional dalam tiga arah. Macam-macam gerakan benda apung yang digambarkan pada Gambar 2.1:

- a. *Surging* : Gerak osilasi translasional pada sumbu-x
- b. *Swaying* : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-y
- c. *Heaving* : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-z
- d. *Rolling* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
- e. *Pitching* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
- f. *Yawing* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z



Gambar 2.1 Enam derajat kebebasan pada kapal

(Sumber: <http://ftkceria.wordpress.com>)

Hanya tiga macam gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni yaitu *heaving*, *rolling*, dan *pitching*, karena gerakan ini bekerja di bawah gaya atau momen pengembali ketika struktur tersebut dari posisi kesetimbangannya. Untuk gerakan, *surging*, *swaying*, dan *yawing*, struktur tidak kembali menuju posisi kesetimbangannya semula, kecuali terdapat gaya atau momen pengembali yang menyebabkannya bekerja dalam arah berlawanan.

2.2.2 Gaya Gelombang

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) sebagai berikut:

$\frac{D}{\lambda} > 1$ = gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid

$\frac{D}{\lambda} > 0.2$ = difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid

$\frac{D}{\lambda} < 0.2$ = persamaan morison valid

Indiyono (2003) menjelaskan beberapa teori yang digunakan pada perhitungan gaya gelombang, diantaranya yaitu :

a. Teori Morison

Persamaan morison mengasumsikan bahwa gelombang terdiri dari komponen gaya inersia dan *drag force* (hambatan) yang dijumlahkan secara linier. Persamaan morison lebih tepat diterapkan pada kasus struktur dimana gaya hambatan merupakan komponen yang dominan. Hal ini biasanya dijumpai pada struktur yang ukurannya (D) relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya (λ).

b. Teori *Froude-Krylov*

Froude-Krylov digunakan bilamana gaya hambatan relatif kecil dan gaya inersia dianggap lebih berpengaruh, dimana struktur dianggap kecil. Teori ini mengadopsi metode tekanan gelombang *incident* dan bidang tekanan pada permukaan struktur. Keuntungan dari teori ini adalah untuk struktur yang simetris, perhitungan gaya dapat dilakukan dengan persamaan terangkai (*closed-form*) dan koefisien-koefisien gayanya mudah ditentukan.

c. Teori Difraksi

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

2.2.3 Heading Kapal terhadap Arah Gelombang

Selain faktor gelombang, terdapat juga faktor gelombang papasan, dimana gelombang tersebut berpapasan terhadap kapal. Dalam ilustrasinya di perhatikan sebagai berikut :

$$T_{\theta} = \frac{L_w}{V_w - V \cos \mu} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$V_w = \omega_{\theta} \left(1 - \frac{V}{V_w} \cos \mu\right) \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

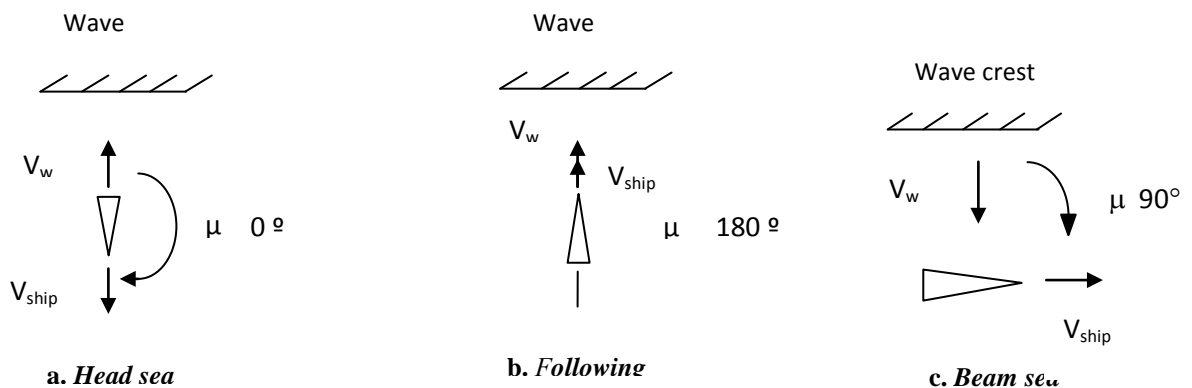
T_{θ} = Periode *Encountering* (s)

V_w = Kecepatan Gelombang (m/s)

V = Kecepatan Kapal (*knot*)

μ = Sudut Datang Gelombang

Sebagai gambaran arah kapal terhadap arah gelombang untuk kondisi *Head Sea*, *Following Sea*, *Beam Sea* dapat dilihat pada gambar Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Definisi arah datang gelombang terhadap *heading* kapal
(Sumber: Bhattacharyya 1972)

2.2.4 Gerakan *Surge* Murni

Surge merupakan gerak translasi kapal dengan sumbu X sebagai pusat gerak.

Persamaan umum pada kapal kondisi *surging* adalah:

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

$a\ddot{x}$: *Inertial force*

$b\dot{x}$: *Damping force*

cx : *Restoring force*

$F_o \cos \omega_e t$: *Exciting force*

2.2.5 Gerakan *Sway* Murni

Sway merupakan gerak translasi kapal dengan sumbu Y sebagai pusat gerak.

Persamaan umum kapal pada kondisi *swaying* adalah:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

$a\ddot{y}$: *Inertial force*

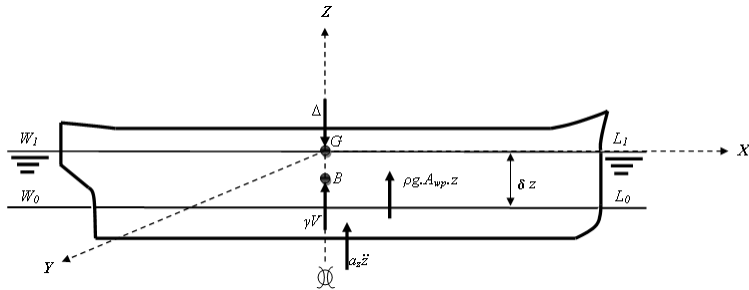
$b\dot{y}$: *Damping force*

cy : *Restoring force*

$F_o \cos \omega_e t$: *Exciting force*

2.2.6 Gerakan *Heave* Murni

Pada *heaving* (Gambar 2.3) gaya ke bawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak vertikal ke atas, ketika posisi kapal telah setimbang kapal akan tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum.



Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan *heave*

(Sumber: Murtedjo 1999)

Dengan keterangan gambar sebagai berikut:

- Δ : *Displacement* kapal
- G : Titik tangkap gaya berat (Titik Berat)
- B : Titik tangkap gaya tekan keatas (Titik *Bouyancy*)
- γV : Gaya tekan keatas
- W_0L_0 : *Water line* keadaan awal
- W_1L_1 : *Water line* keadaan *heave*
- $a_z \ddot{z}$: Tambahan gaya tekan keatas karena *added mass*
- δ_z : Besar jarak simpangan *heave*

Maka dapat dituliskan persamaan umum pada kapal kondisi heaving adalah :

$$a \ddot{z} + b \dot{z} + cz = F_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan:

- $a \ddot{z}$: *Inertial force*
- $b \dot{z}$: *Damping force*
- cz : *Restoring force*
- $F_o \cos \omega_e t$: *Exciting force*

2.2.7 Gerakan *Roll* Murni

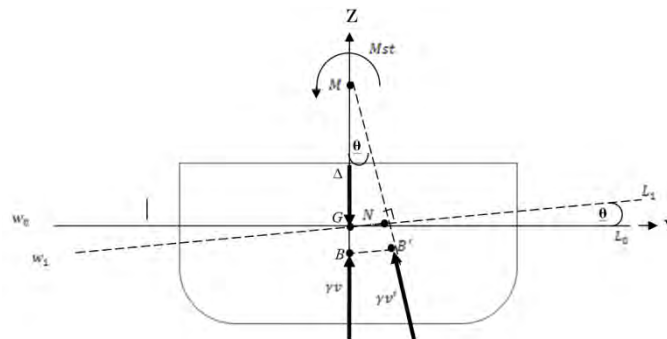
Kapal menjalani gerakan harmonis sederhana terhadap koordinat axis secara transversal maupun longitudinal. *Rolling* merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya (Gambar 2.4). Gerakan ini akan berpengaruh terhadap initial velocity sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya.

Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* ialah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

- M_o = Amplitudo momen eksitasi (m)
- ω_e = Frekuensi gelombang *encountering* (hz)
- $a\ddot{\theta}$ = *Inertial moment*
- $b\dot{\theta}$ = *Damping Moment*
- $c\theta$ = *Restoring Moment*
- $M_o \cos \omega_e t$ = *Exciting moment*



Gambar 2.4 Ilustrasi kondisi *rolling* kapal pada saat *still water*
(Sumber: Murtedjo 1999)

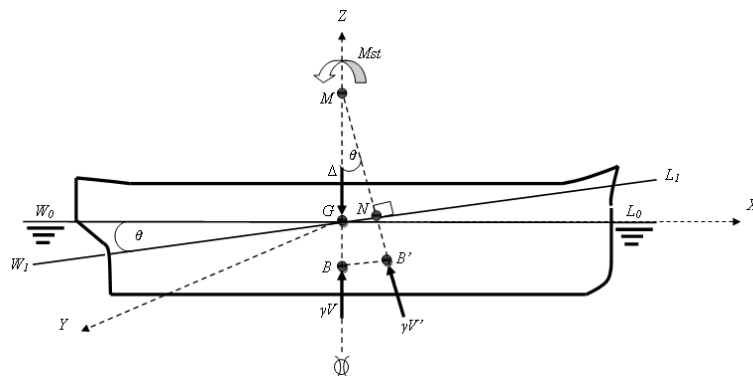
2.2.8 Gerakan *Pitch* Murni

Konstruksi benda apung dapat mengalami *simple harmonic motion* yang berupa gerakan dalam arah sumbu transversal maupun arah sumbu longitudinal apabila benda apung tersebut mengalami perpindahan posisi keseimbangannya dan kemudian dilepaskan atau pada benda apung tersebut dikenakan suatu kecepatan awal sehingga bergerak menjauh dari posisi keseimbangannya. *Pitching* (Gambar 2.5) merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat pitching perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat pitching adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

- M_o = amplitudo momen eksitasi (m)
- ω_e = frekuensi gelombang *encountering* (hz)
- $a\ddot{\theta}$ = *Inertial Moment*
- $b\dot{\theta}$ = *Damping Moment*
- $c\theta$ = *Restoring Moment*
- $M_o \cos \omega_e t$ = *Exciting Moment*



Gambar 2.5 Ilustrasi kondisi *pitch*
(Sumber: Murtedjo 1999)

2.2.9 Gerakan *Yaw* Murni

Gerak *yaw* merupakan gerak rotasional kapal dengan sumbu Z sebagai pusat gerak. Sama halnya seperti pada gerak *rolling* dan *pitching*, gerak ini pun akan berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi kapal, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan umum gerak kapal untuk *yawing* ialah:

$$a\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + c\varphi = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

- M_o = amplitudo momen eksitasi (m)
- ω_e = frekuensi gelombang *encountering* (hz)
- $a\ddot{\varphi}$ = *Inertial Moment*
- $b\dot{\varphi}$ = *Damping Moment*

$$c\varphi = \text{Restoring Moment}$$

$$M_e \cos \omega_e t = \text{Exciting Moment}$$

2.2.10 Gerakan Couple Six Degree of Freedom

Karena bangunan apung yang ditinjau terdiri dari enam mode gerakan bebas (*six degree of freedom*), dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan:

- M_{jk} = komponen matriks massa kapal
- A_{jk}, B_{jk} = matriks koefisien massa tambah dan redaman
- C_{jk} = koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali
- F_j = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks
- F_1, F_2 , dan F_3 adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*, *sway*, dan *heave*, sedangkan F_4, F_5 , dan F_6 adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

2.2.11 Offloading Process

Offloading adalah proses pemindahan atau pengeluaran muatan, dari satu struktur ke struktur yang lain. Siklus *offloading* mempunyai beberapa batasan operasi, yaitu: *pilot boarding*, *tugs connecting*, *berthing*, *mooring*, *offloading*, dan *unberthing*. Poldervaart (2006) menguraikan bahwa siklus *offloading* dapat dibagi menjadi 3 fase, dan tiap fase terdiri dari beberapa operasi, yaitu:

1. Apporoach/ berthing

- *Initial approach* adalah prosedur awal ketika posisi Shuttle Tanker mendekati FSO dengan jarak yang jauh. Operasi ini berakhir ketika posisi Shuttle Tanker sudah dalam posisi sejajar dengan FSO pada radius 100 – 150 meter.

- *Hold station* adalah posisi yang menjelaskan bahwa Shuttle Tanker berada sejajar dengan FSO dengan jarak 100 – 150 meter dan tetap berada diposisi tersebut hanya dengan bantuan *tug boat*.
- *Parallel berthing* adalah posisi ketika Shuttle Tanker bergerak mendekati FSO secara perlahan dengan bantuan *tug boat*.
- *Fender kissing* adalah saat pertama kali terjadinya tumbukan pada *fender*.
- *Mooring* adalah saat pengikatan dan pemberian *pre-tension* pada tali tambat.
- *Loading arm connection* adalah kegiatan menyambungkan *loading arm* pada FSO ke *manifold* pada Shuttle Tanker.

2. *Offloading*

- Proses ini berlangsung ketika tali tambat dan *fender* bekerja optimal dan dipastikan bahwa *loading arm* berada pada *operating envelope*.

3. *Depart/ Sail away*

- *Disconnection* adalah operasi ketika *loading arm* dilepaskan dari *manifold*.
- *Unmooring* adalah kegiatan saat tali tambat dilepaskan.
- *Sail away* adalah proses menjauhnya Shuttle Tanker dari FSO dengan bantuan tug boat maupun dengan menggunakan sistem penggerak *Shuttle Tanker*.

2.2.12 Sistem Tambat

Sistem penambatan pada FSO dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu: *weathervaning* dan *non-weathervaning*. *Weathervaning* adalah respon bangunan apung yang bebas berputar terhadap beban lingkungan. *Turret mooring system* dan *tower yoke mooring system* termasuk dalam sistem tambat *weathervaning*, sedangkan *jetty mooring system* dan *spread mooring* termasuk dalam sistem tambat *non-weathervaning*. Pada *spread mooring system*, skema tandem menjadi lebih baik karena osilasi *stern* lebih tereduksi dengan baik.

1. *Turret Mooring System*

Turret mooring system, seperti digambarkan pada Gambar 2.6, menggunkan sembilan sampai 12 tali tambat yang berfungsi sebagai penstabil bangunan

apung serta sistem *riser* yang berfungsi sebagai media penyalur natural gas ke *onshore*. de Pee (2005) menyatakan bahwa, kedalaman minimum untuk *turret mooring system* adalah 50 meter. Namun pada perairan yang lebih tenang, kedalaman 35 meter masih mampu beroperasi dengan baik.

2. *Tower Yoke Mooring System*

Liu (2007) mengungkapkan, sistem tambat *Tower yoke*, seperti digambarkan pada Gambar 2.6, terdiri dari *tower* yang dipancangkan ke dasar laut dan rangkaian penghubung atau *yoke* yang berfungsi sebagai penghubung antara *tower* dengan bangunan apung. de Pee (2005) Kedalaman yang cocok untuk sistem ini berkisar dari 18 sampai 40 meter. *Pipeline* penyalur natural gas dari terminal menuju *onshore* diikatkan pada kaki *tower*, sehingga menjaga *pipeline* dari gerakan yang tidak diinginkan.



Gambar 2.6 *Tower Yoke Mooring System*

(Sumber : Liu, 2007)

2.2.13 *Response Amplitudo Operator (RAO)*

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *transfer function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$RAO = \frac{\text{Amplitudo Respon Gerakan}}{\text{Amplitudo Gelombang}} = \frac{R_a}{\zeta_a} \dots\dots (2.10)$$

dimana,

R_a : Amplitudo respon gerakan [ft]

ζ_a : Amplitudo gelombang [ft]

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = *transfer function*

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.14 Analisis Dinamis Berbasis Ranah Frekuensi (*Frequency Domain Analysis*) untuk Gerakan Struktur Kondisi *Free Floating*

Dari hasil yang diperoleh untuk koefisien hidrodinamik dan gaya gelombang yang bekerja pada bangunan apung, maka persamaan gerak untuk *single body* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{k=1}^6 [(M + A)\ddot{\eta} + B\dot{\eta} + C\eta] = F e^{-i\omega_s t} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan,

M = Massa struktur (*generalized mass*)

A = Massa tambah (*added mass*)

B = Koefisien redaman (*damping*)

C = Koefisien pengembali (*restoring*)

F = Amplitudo gelombang dan komponen momen yang didefinisikan sebagai komponen dari $F e^{-i\omega_s t}$.

Dengan mengembangkan persamaan gerak untuk *single body* dapat untuk mendefinisikan persamaan gerak untuk *multi body*, yaitu

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^6 [(M^1 + A^{11} + \dots + A^{1N})\ddot{\eta} + (B^{11} + \dots + B^{1N})\dot{\eta} + C^1\eta] &= F^1 e^{-i\omega_s t} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ \sum_{k=1}^6 [(M^N + A^{N1} + \dots + A^{NN})\ddot{\eta} + (B^{N1} + \dots + B^{NN})\dot{\eta} + C^N\eta] &= \\ F^N e^{-i\omega_s t} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Superscript pada persamaan tersebut menunjukkan nomer moda antara jumlah bangunan apung N tertentu.

Jika bangunan apung berosilasi akibat gelombang harmonik maka respon struktur yang terbentuk adalah sebagai fungsi harmonik. Analisis berbasis ranah frekuensi dilakukan untuk menentukan respon bangunan struktur pada gelombang reguler yang disajikan dalam bentuk *Respon Amplitude Operator*.

2.2.15 Spektrum Gelombang

Menurut Djabatmiko (2012), sebuah gelombang reguler memuat energi yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya, seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini,

$$\frac{dE_T}{dA} = \frac{dE_p + dE_k}{dA} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan,

- dE_T = energi total
- dA = luas permukaan
- dE_p = energi potensial
- dE_k = energi kinetik
- ζ_0 = amplitudo gelombang

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau lebih dikenal dengan istilah spektrum gelombang.

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), Bretschneider (1969), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum JONSWAP.

Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di North Sea. Persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum Pierson-Moskowitz, yaitu :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} EXP \left[-1,25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{EXP \left[\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2} \right]} \quad (2.15)$$

dengan,

γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

τ = parameter bentuk (*shape parameter*) untuk

$\omega \leq \omega_0 = 0,07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0,09$

$\alpha = 0,0076 (X_0)^{-0,22}$, untuk X_0 tidak diketahui $\alpha = 0,0081$

$\omega_0 = 2\pi \left(\frac{g}{U_w} \right) (X_0)^{-0,33}$

$X_0 = \frac{g X}{U_w}$

Perhitungan nilai parameter puncak (γ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Torsethaugen (1985) sebagai berikut,

$$\gamma = EXP \left[3,4843 \left(1 - 0,1975 \left(0,036 - 0,0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_p^4}{H_s^2} \right) \right] \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan,

T_p = periode puncak spektra

H_s = tinggi gelombang signifikan

2.2.16 Analisis Dinamis Berbasis Ranah Waktu (*Time Domain Analysis*)

Jika suatu sistem linear dan beban gelombang yang bekerja hanya terdiri dari *first order* maka beban yang diterima maupun respon yang dihasilkan juga dalam bentuk linear sehingga dapat diselesaikan dengan analisis dinamis berbasis ranah frekuensi (*frequency domain analysis*). Sedangkan jika terkandung di dalamnya faktor-faktor non linear, seperti beban gelombang *second order*, *nonlinear viscous damping*, gaya dan momen akibat angin dan arus maka perhitungan *frequency domain analysis* menjadi kurang relevan. Oleh karena itu untuk mengakomodasi faktor-faktor non linear tersebut maka persamaan gerak dari hukum kedua Newton diselesaikan dalam fungsi waktu atau yang lebih dikenal dengan istilah analisis dinamis berbasis ranah waktu (*time domain analysis*). Persamaan tersebut dideskripsikan sebagai,

$$[m + A(\omega)]\ddot{x} + C(\omega)\dot{x} + D_1\dot{x} + D_2f(\dot{x}) + Kx = q_{WI} + q_{WA}^1 + q_{WA}^2 + q_{CU} + q_{xet} \quad \text{.....(2.17)}$$

dengan,

q_{WI} = beban seret angin (*wind drag force*)

q_{WA}^1 = beban gelombang first order

q_{WA}^2 = beban gelombang second order

q_{CU} = beban arus

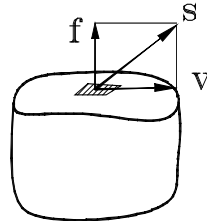
q_{xet} = beban eksternal lainnya

2.2.17 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$v = \frac{V}{A} \text{ atau } \frac{\text{gaya geser}}{\text{luas}} \left[\frac{N}{m^2} \right] \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan V adalah gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang dan A adalah luas penampang.



Gambar 2.7 Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang
(Sumber: Popov 1996)

2.2.18 Tegangan Von Misses

Kapal harus mampu menahan beban – beban operasional tambahan yang terjadi dengan aman, yaitu tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan, serta pelat kapal, pelat bilah, agar tidak kehilangan stabilitasnya (tidak mengalami *buckling*).

Untuk menghitung tegangan kita memakai persamaan :

$$\sigma(x,y) = \frac{M_x Y}{I} \dots \dots \dots (2.19)$$

dengan:

M_x = momen bending (ton.m)

Y = jarak normal bidang (m)

I = momen inersia bidang (m²)

Jadi harus ditentukan y yang merupakan jarak “titik berat bagian yang dihitung tegangannya” terhadap sumbu netral (garis mendatar yang melalui titik berat penampang), dan menghitung momen inersia penampang $I_{(x)}$. Karena penampang melintang kapal mempunyai banyak bagian, maka menghitung momen inersianya tak dapat dihitung dengan memakai rumus dasar ($I = \frac{1}{12} b.h^3$) dan sebaiknya dilakukan dalam bentuk tabulasi. Seperti telah dijelaskan didepan, akibat beban momen lengkung yang bekerja pada badan kapal, maka bagian penampang kapal

yang mengalami tekanan dan posisinya mendatar (horizontal) dimasukkan kedalam perhitungan momen inersia harus sudah diperhitungkan lebar efektifnya, dengan cara seperti pada uraian didepan. Pada element tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut (Ansys 13.0):

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu

σ_x = tegangan arah sumbu x

σ_y = tegangan arah sumbu y

σ_z = tegangan arah sumbu z

σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy

σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz

σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu element merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada node tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *Von Mises*:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \dots (2.21)$$

dengan:

σ_{eq} = tegangan ekuivalen (*von mises stress*)

σ_x = tegangan normal sumbu x

σ_y = tegangan normal sumbu y

σ_z = tegangan normal sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser bidang yz

τ_{yz} = tegangan geser bidang zx

τ_{zx} = tegangan geser bidang xy

2.2.19 Tegangan Tali Tambat

Gerakan pada FSO dan akibat dari beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (*tension*) pada *chain*. Tension yang terjadi dapat dibedakan menjadi :

1. *Mean Tension*

Mean tension adalah tension pada chain yang berkaitan dengan mean offset pada FSO.

2. *Maximum Tension*

Maximum tension adalah *mean tension* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.

Menurut *API-RP2SK 3rd edition*, *maximum tension* dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini:

1. $T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots\dots\dots (2.22)$$

2. $T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

T_{mean} = *mean tension*

T_{max} = *maximum tension*

T_{wfmax} = *maximum wave frequency tension*

T_{wfsig} = *significant wave frequency tension*

T_{lfmax} = *maximum low-frequency tension*

T_{lfsig} = *significant low-frequency tension*

Untuk mengetahui desain sistem tambat aman atau tidak, harus dilakukan pengecekan. Salah satunya pengecekan dapat dilakukan pada nilai *tension* pada masing-masing tali tambat. *Tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rule*. Pada tugas akhir ini *rule* yang dipakai

sebagai acuan adalah ABS. ABS (2004) telah menetapkan *safety factor* untuk *mooring line* harus lebih besar dari 1,67. Persamaan *safety factor* adalah:

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}} \dots\dots\dots(2.24)$$

2.2.20 Tegangan Aksial

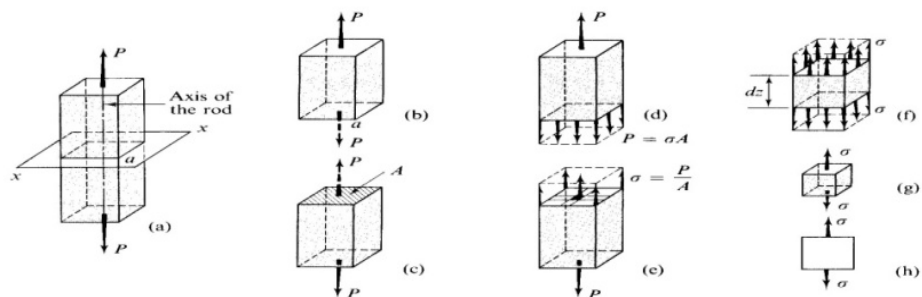
Tegangan aksial (tegangan normal) yang diperlihatkan pada Gambar 2.9 adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$f = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

- F : gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang,
- A : luas penampang

Pada batang-batang yang menahan gaya aksial saja, tegangan yang bekerja pada potongan yang tegak lurus terhadap sumbu batang adalah tegangan normal saja, tidak terjadi tegangan geser.



Gambar 2.8 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial, (+) tarik dan (-) tekan
(Sumber: Popov 1996)

2.2.21 Bending Stress

Momen luar diimbangi oleh momen dalam yang merupakan resultan tegangan lentur (*bending stress*).

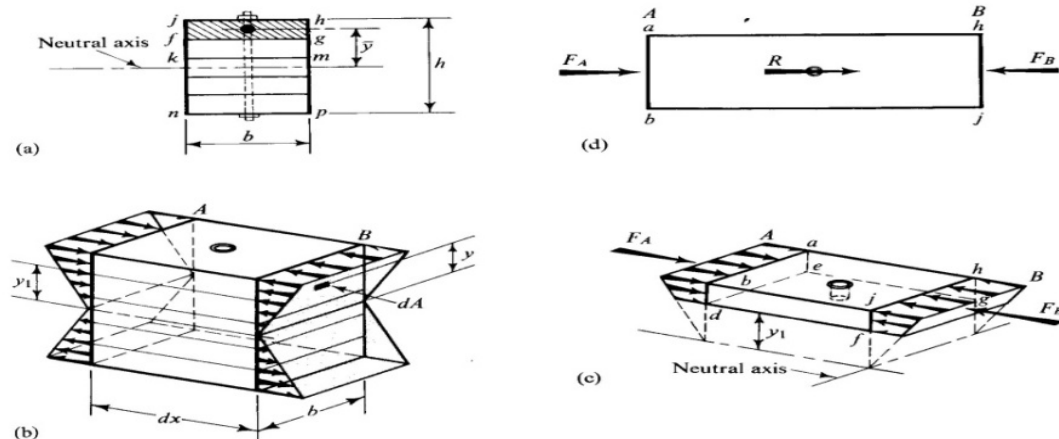
$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left(-\frac{y}{c} f_{\max} \right) dA \cdot y = -\frac{f_{\max}}{c} \int_A y^2 dA \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

$\int_A y^2 \cdot dA = I$ adalah besaran penampang yang disebut momen inersia terhadap tita k berat penampang. Jadi persamaan tegangan lentur menjadi:

$$M = -\frac{f_{\max}}{c} I \quad \text{atau} \quad f_{\max} = -\frac{M c}{I} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Tegangan lentur pada sembarang titik yang berjarak y dari garis netral:

$$f = -\frac{M y}{I} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$



Gambar 2.9 Tegangan lentur (*bending*) pada suatu penampang
(Sumber: Popov 1996)

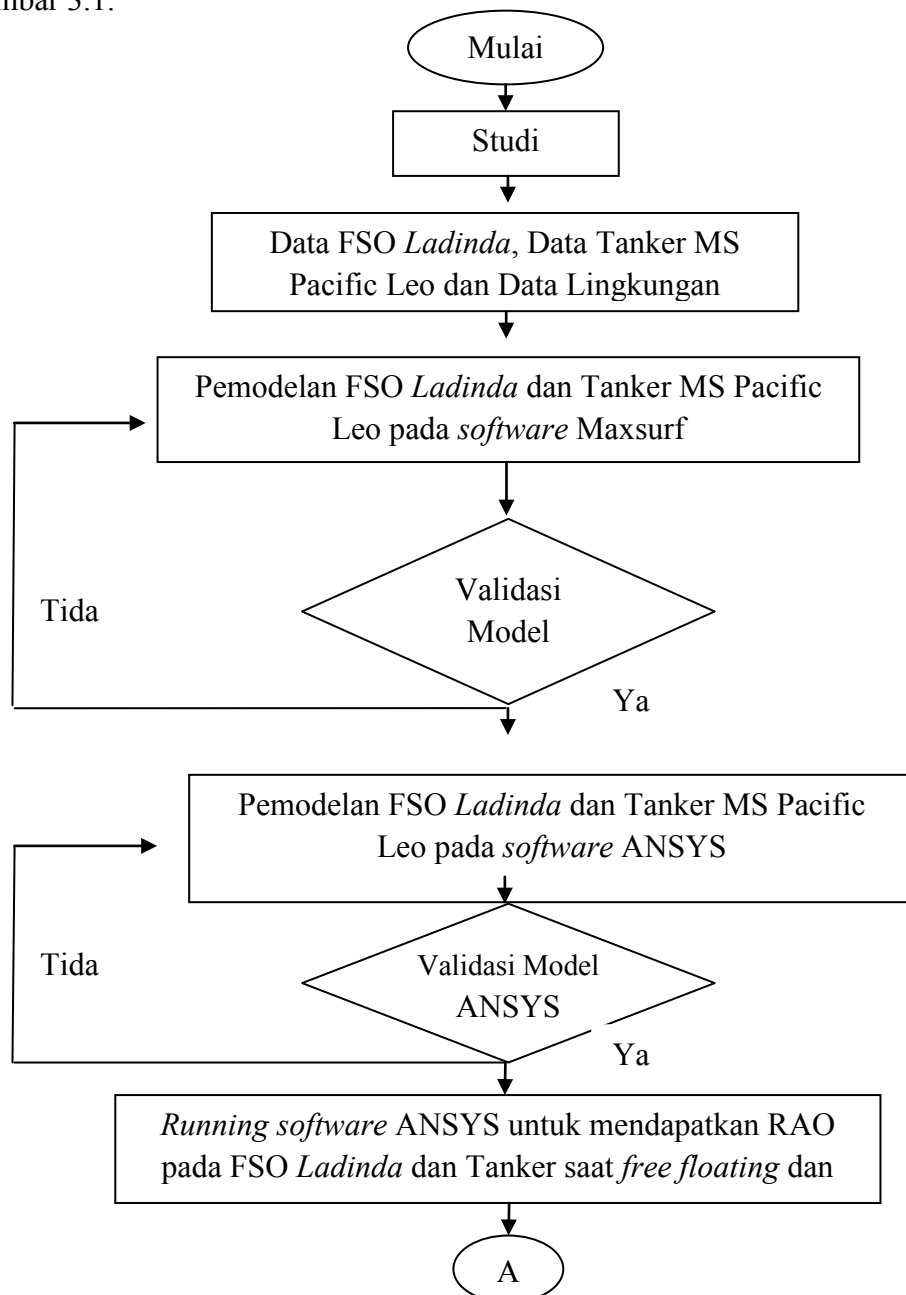
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III

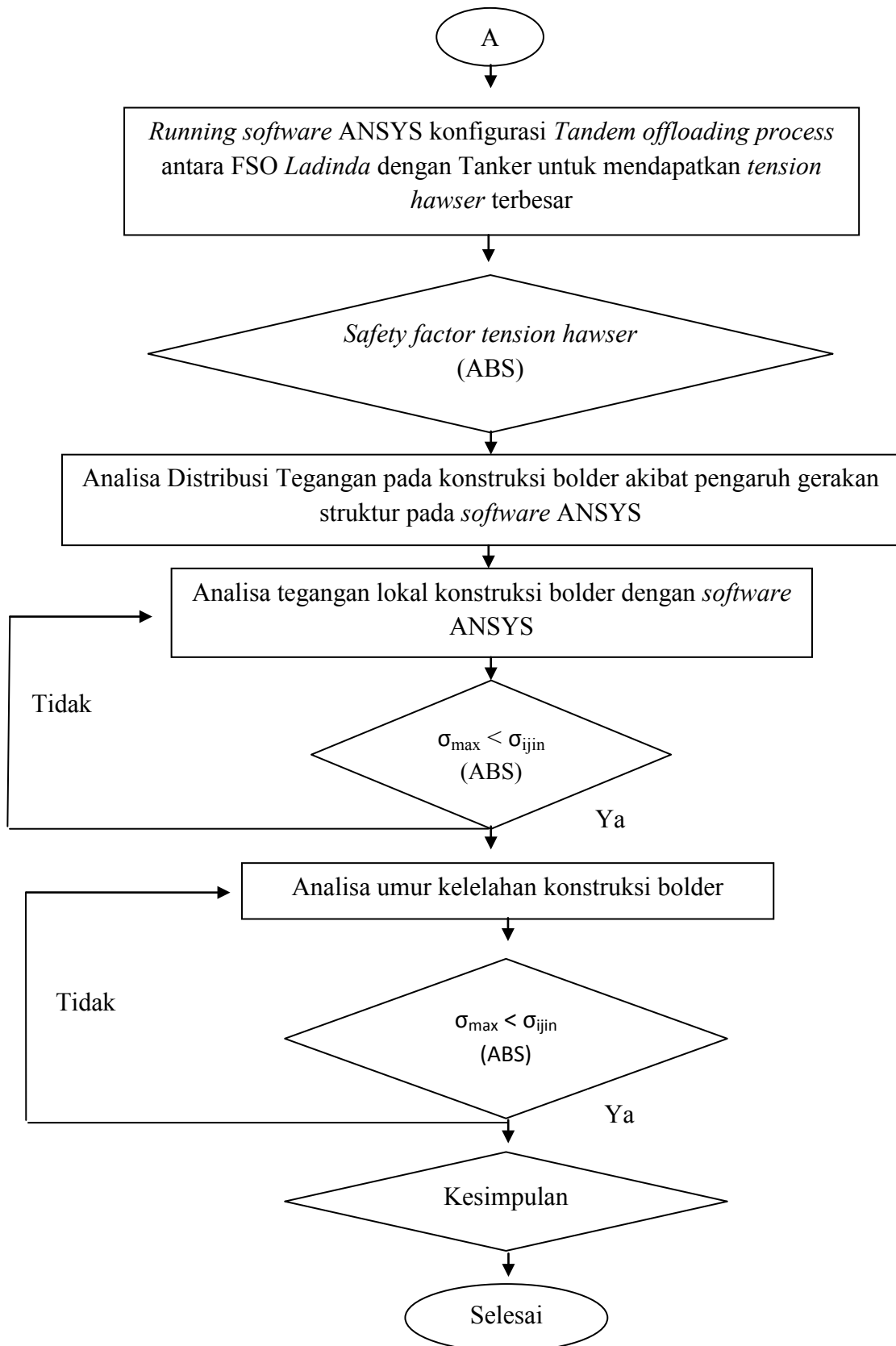
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, model yang digunakan adalah model numerik yang dibuat dengan bantuan *software*. Sedangkan untuk metodologi penelitiannya, secara umum dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Penyelesaian Tugas Akhir



Gambar 3.2 Flowchart Penyelesaian Tugas Akhir (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

Alur dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur pada tugas akhir dilakukan untuk mengkaji dasar teori berkaitan dengan analisa tegangan konstruksi *bolder* pada FSO *Ladinda* menggunakan metode *deterministic* dari berbagai buku, materi perkuliahan, jurnal, penelitian sebelumnya termasuk laporan tugas akhir terdahulu yang memiliki keterkaitan topik serupa.

2. Pengumpulan Data

- Data FSO *Ladinda*
- Data Tanker MS Pacific Leo
- Data lingkungan
- Data sistem tali tambat kapal
- Data sistem *bollard* kapal
- Data konstruksi *bolder* di FSO *Ladinda* dan Tanker MS Pacific Leo

3. Pemodelan dengan *software* Maxsurf

Pemodelan ini bertujuan untuk mendapatkan koordinat-koordinat bentuk *body* FSO dan Tanker serta untuk mendapatkan data hidrostatik model.

4. Validasi model *software* Maxsurf

Setelah model FSO dan Tanker dibuat pada *software* Maxsurf, dilakukannvalidasi berdasarkan data hidrostatik. Jika validasi data dianggap salah, maka model akan di desain ulang sampai menyerupai *body* asli dengan batas *error* tidak melebihi 5%

5. Pemodelan FSO dan Tanker pada *software* ANSYS

Pemodelan ini dilakukan setelah didapatkan *control point* untuk struktur FSO dan Tanker, berdasarkan koordinat-koordinatnya dari pemodelan *software* Maxsurf.

6. Validasi model *software* ANSYS

Setelah model FSO dan Tanker dibuat pada *software* ANSYS, dilakukan validasi berdasarkan data hidrostatik dan displacement *ouput software* ANSYS.

Jika validasi data dianggap salah, maka model akan di desain ulang sampai menyerupai *body* asli dengan batas *error* tidak melebihi 5%

7. Analisa Gerakan dengan *software* ANSYS

Running ANSYS dilakukan untuk mendapatkan RAO dari struktur terhadap beban gelombang pada kondisi *free floating* dan tertambat.

8. Analisa *tension hawser* terbesar dengan *software* ANSYS

Setelah didapatkan RAO pada kondisi *free floating*, selanjutnya dilakukan pemodelan *tandem offloading process* pada ANSYS. Modelnya pun meliputi FSO dan Tanker sekaligus *input* data lingkungan dan *mooring property*. Data lingkungan berupa beban gelombang 100 tahunan di Selat Lalang dan *mooring property* berupa jenis, diameter, dan panjang *mooring hawser*. Setelah itu dicari *tension* terbesar pada *hawser* yang menghubungkan FSO dan Tanker. Dari hasil *tension hawser* terbesar tersebut, dihitung *safety factor* untuk mengetahui bahwa nilai tersebut memenuhi / tidak memenuhi dari ketentuan ABS.

9. Analisa distribusi tegangan pada konstruksi bolder

Dari hasil *shear force* dan *bending moment* pada tiap *longitudinal position*, dimodelkan secara global struktur FSO Ladinda sesuai *bulkhead section* pada *software* ANSYS dari hasil *shear force* dan *bending moment* terbesar di *longitudinal position* konstruksi bolder. Analisa ini digunakan untuk menentukan distribusi tegangan pada konstruksi bolder akibat gerakan struktur.

10. Analisa tegangan lokal pada Konstruksi Bolder

Tegangan lokal konstruksi bolder pada FSO *Ladinda* dilakukan dengan *running software* ANSYS. Beban yang digunakan dalam analisa lokal ini yaitu beban *tension hawser* terbesar dan distribusi tegangan pada konstruksi bolder akibat gerakan struktur. Kemudian dilakukan analisis terhadap tegangan *von mises* pada konstruksi bolder yang didapat. Analisis dilakukan dengan mengacu pada standar yang digunakan, yaitu *American Bureau of Shipping* untuk mengetahui apakah struktur tersebut sesuai dengan kriteria atau tidak.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Sejarah FSO Ladinda

Name	: FSO <i>LADINDA</i>
Type	: <i>Moored Oil Storage Barge</i>
Name 1	: Giewont. II
Name 2	: Panditha Natha Sagara – IOC
Name 3	: Hudbay Riau (HR)
Name 4	: Lasmo Riau
Built In	: Kiel, Germany October 1974
Yard No.	: 80
Conversion	: ROBIN SHIPYARD (PTE) LTD IMODCO DRAWING NO. 1176-4-1-N-01
Class	: Llyod's Register of Shipping
IMO No.	: 7361269 100 AT Oil Storage Barge for Service at Malacca Strait Lalang Field
Port of Registry	: Jakarta
Flag	: Indonesia
Owner	: PT. Emha Tara Navindo
Operator	: Kondur Petroleum S.A / EMP
History	:

The Hudbay Riau (HR) was an oil tanker name was TT Giewont II. Operated by Poland. She had been modified in Singapore to be a storage barge (the main engine, propeller removed) under supervision of Lloyd Register of Shipping.

The ship yard where she was modified, was ROBIN SHIPYARD (PTE) LTD.

31 May, 1984, 12.30 hrs

The HR departed Singapore bound for Lalang Field. She was towed by 4 tugs of the Selco Coy. The tugs were Salverites, Salveritastile, Salvain and Salnenus.

3 June, 1984, 11.40 hrs

The HR arrived at Lalang Field, SPOLS area.

4 June, 1984, 21.35 hrs

The HR secured was on the SPOLS

5 June, 1984, 20.58 hrs

5 units of Yokohama fenders were installed on the starboard side of HR.

12 June, 1984, 09.17 hrs

Commence loading Lalang Crude into HR cargo tanks received from the production flow station

15 – 16 July, 1984

The first shipment was 536,821 net bbls, loaded into MT. World Kudos, a Liberian flag tanker with dwt 88,460 Ton

The consignee of shipment was BP Australia LTD and discharged in Kwinana, Australia.

25 July, 1984

The Lalang Field was officially inaugurated by the President of the Republic of Indonesia with a daily production of 25,000 barrel per day.

1984 – 1991 : Hudbay Riau operator HUDBAY OIL

1991 – 1995 : Lasmo Riau operator LASMO OIL

12 October 1995 : Ladinda operator KONDUR PETROLEUM SA.

03 February 2005 : Ladinda was change the flag from panama to Republic Indonesia

August 2005

Ladinda Lifting schedules for Lalang Oil: 3 times per months.

Since 2 months share capacity with Petrochina: 4 times/ month received GERAGAI crude from shuttle tanker, *Offloading Process* 1 times/months export Geragai crude

Up to 30 July 2005.

Mooring Tower System – Elevation was called SPOLS (Single Point Offshore Loading System). The SPOLS comprises a jacket with an innovative mooring arm which is connected to LADINDA. The arrangement of this SPOLS is particularly suitable for condition likely to be encountered in the Lalang Field with the currents change their direction every 6 hours.



Gambar 3.3 mooring wishbone arm system attach to tripod SPOLS (*Single Point Offshore Loading System*)

(Sumber ;PT. Energi Mega Persada, 2014)

3.3.2 Data FSO *Ladinda*

Tabel 3.1 adalah data FSO *Ladinda* :

Tabel 3.1 Ukuran Utama FSO *Ladinda*

Ukuran Kapal	Unit	Kondisi Maksimum Operasi	Kondisi Minimum Operasi
<i>Length, LOA</i>	m	284	
<i>Length, LBP</i>	m	272	
<i>Breadth, B</i>	m	43.4	
<i>Depth, D</i>	m	20.6	
<i>Draft, T</i>	m	15.725	2.41
<i>Displacement</i>	Ton	161810	21614
LCG	m	144.11 <i>from AP</i>	123.03 <i>from AP</i>
KG (VCG)	m	10.76	12.57
<i>Yaw Radius of Gyration</i>	m	0.1	0
LCB	m	143.83 <i>from AP</i>	146.11 <i>from AP</i>
LCF	m	138.176 <i>from AP</i>	145.52 <i>from AP</i>
KB	m	7.72 <i>from BL</i>	1.35 <i>from BL</i>
KM	m	17.69 <i>from BL</i>	53.35 <i>from BL</i>

<i>Midship Section Coefficient</i>		0.995
<i>Water Plane Coefficient</i>		0.923
<i>Prismatic Coefficient</i>		0.84
<i>Block Coefficient</i>		0.83
<i>Cargo Tank Capacity</i>	Bbls	1.012.000
<i>Production Level</i>	Bpd	25.000

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

3.3.3 Data Shuttle Tanker (Tanker MS Pacific Leo)

Shuttle tanker yang digunakan adalah Tanker M.S. Pacific Leo yang pernah melakukan proses *tandem offloading process* di Lalang terminal dengan FSO *Ladinda*. Tanker M.S. Pacific Leo ini merupakan salah satu tanker terbesar yang pernah melakukan proses *tandem offloading process* di Lalang terminal dengan FSO *Ladinda*.

Tabel 3.2 adalah data ukuran utama Tanker M.S. Pacific Leo :

Tabel 3.2 Ukuran Utama Tanker MS Pacific Leo

Ukuran Kapal	Unit	Kondisi Maksimum Operasi	Kondisi Minimum Operasi
<i>Vessel's Name</i>		Pacific Leo	
<i>Type of vessel</i>		<i>Oil Tanker</i>	
<i>Type of hull</i>		<i>Double Hull</i>	
<i>Length, LOA</i>	m	246.78	
<i>Length, LBP</i>	m	235	
<i>Breadth, B</i>	m	42	
<i>Depth, D</i>	m	21.3	
<i>Draft, T</i>	m	14.798	2.3
<i>Displacement</i>	Ton	123872	16725
<i>Cargo Tank Capacity</i>	m3	120257.5	
<i>Total Cargo Tank</i>		7 tank	
<i>General Arrangement</i>	Tanker	M.S Pacific Leo terlampir	

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

3.3.4 Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan yaitu kondisi lingkungan yang paling berpengaruh di Selat Lalang, dimana lokasi FSO *Ladinda* beroperasi.

Tabel 3.3 ini adalah data lingkungan Perairan di Selat Lalang :

Tabel 3.3 Data Lingkungan di Selat Lalang

Parameter		Unit	100 – Tahunan
Gelombang	Tinggi (Hs)	ft	6.5
	Periode (Ts)	sec	5
Angin	Kecepatan (Vw)	knots	22
	Waktu Durasi	hrs	1
Arus	Kecepatan (Vc)	m/s	2.41
	Kedalaman	m	10.51

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

3.3.5 Sistem Tali Tambat Kapal

Tabel 3.4 ini adalah data tali tambat yang digunakan saat *tandem process* antara Tanker M.S. Pacific Leo dan FSO *Ladinda*.

Tabel 3.4 Data Mooring Hawser

No	Data	
1.	Type of Rope	Nylon rope
2.	Material of Rope	Nylon
3.	Nominal Rope Diameter	88 mm
4.	Minimum Breaking Strength (MBS)	1750 kN
5.	Length	
	Tail Rope	11 m
	Mooring Rope	275 m
7.	Mass	4.8 kg / m
8.	Rope Standard	BS EN 12385-4:2004
9.	Third party authority (if required):	Lloyd's Register
10.	Identification / markings:	Part number XL709 – 4567
11.	Design Mooring Force	200 ton

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)



Gambar 3.4 Perangkat saat *tandem Offloading Process*

(Sumber: www.psisasoma.lt)

3.3.8 Konstruksi Bolder

Tabel 3.5 adalah data Konstruksi Bolder di FSO *Ladinda*:

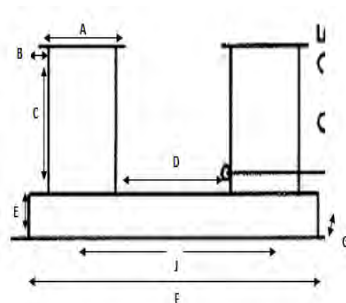
Tabel 3.5 Data Konstruksi Bolder

No	Data	
1.	Jenis Bolder	<i>Double Bollard</i>
2.	Jumlah di FSO Ladinda	9 Buah
3.	<i>Safety Working Load (SWL)</i>	200 ton
4.	<i>Material Baja</i>	ASTM A36
5.	<i>Yield Strength</i>	250 MPa

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

Gambar 3.6 adalah ukuran dimensi dari konstruksi Bolder d FSO *Ladinda*

- | | | | |
|------|----------|-------|----------|
| 1. A | = 60 cm | 7. G | = 62 cm |
| 2. B | = 2 cm | 8. H | = 10 cm |
| 3. C | = 61 cm | 9. I | = 22 cm |
| 4. D | = 200 cm | 10. J | = 144 cm |
| 5. E | = 27 cm | 11. K | = 53 cm |
| 6. F | = 200 cm | | |



Gambar 3.5 Konstruksi Bolder

(Sumber; PT. Energi Mega Persada, 2014)

Konstruksi Bolder terletak pada *main deck* FSO Ladinda dengan ketebalan 150 mm, plat di *main deck* 13 mm (mengalami penurunan menjadi 12.8 mm) dan girder dengan type W 12 X 50 spacing 0.6 m. (sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

Tabel 3.6 adalah koordinat dari konstruksi bolder di FSO *Ladinda* dengan koordinat O (0,0,0) pada bagian buritan kapal (ilustrasi gambar terlampir), dimana koordinat cartesian X (horizontal memanjang), Y (vertical memanjang), dan Z (tinggi).

Tabel 3.6 Data Koordinat Konstruksi Bolder di FSO *Ladinda*

Koordinat	X	Y	Z
Bolder 6A	5.6 m	11.624 m	20.6 m
Bolder 6B	4.3 m	13.02 m	20.6 m

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

Proses penambatan yang dilakukan saat *tandem offloading process* dua bangunan apung antara Tanker M.S. Pacific Leo dan FSO *Ladinda* yaitu awal mulanya tali tambat dipasangkan pada *winch* shuttle tanker yang kemudian tersambung pada *fairlead/ bollard* shuttle tanker, kemudian tali tambat tersebut terhubung pada konstruksi bolder FSO *Ladinda* yang pada akhirnya terkoneksi pada *Quick release Hook* (QRH) FSO *Ladinda*. Tabel 3.10 adalah koordinat bollard di Tanker M.S. Pacific Leo yang terkoneksi di FSO *Ladinda* dengan koordinat O (0,0,0) pada bagian buritan kapal (ilustrasi gambar terlampir), dimana koordinat cartesian X (horizontal memanjang), Y (vertical memanjang), dan Z (tinggi).

Tabel 3.7 Data Koordinat Fairlead/ Bollard di Tanker MS Pacific Leo

Koordinat	X	Y	Z
<i>fairlead/ bollard</i> 1A	238.818 m	11 m	21.3 m
<i>fairlead/ bollard</i> 1B	230.857 m	15 m	21.3 m

(sumber : PT. Energi Mega Persada, 2014)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil-hasil pemodelan dan perhitungan yang didapatkan dari simulasi dengan bantuan *software* sesuai dengan metodologi penelitian untuk mencapai tujuan penelitian. Simulasi dilakukan pada kondisi lingkungan perairan di Selat Lalang. Pertama kali dilakukan pemodelan pada *software* Maxsurf untuk memperoleh koordinat-koordinat struktur yang selanjutnya digunakan untuk pemodelan selanjutnya. Selain itu, pemodelan pada Maxsurf dilakukan untuk mendapatkan hidrostatik model untuk divalidasikan dengan data hidrostatik yang ada. Pembahasan dimulai dengan verifikasi pemodelan yang telah dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan dengan data referensi. Pembahasan kedua ialah analisis perilaku gerak struktur saat *free floating* pada gelombang regular yang ditunjukkan oleh RAO (*Response Amplitude Operator*). Pembahasan ketiga adalah analisis hasil simulasi dari sistem lengkap FSO dan *shuttle tankers* saat proses *tandem offloading system*. Hasil-hasilnya berupa tegangan (*tension*) pada *hawser* yang menghubungkan *shuttle tanker* dengan FSO dan kemudian pembahasan terakhir ialah kekuatan konstruksi bolder pada FSO saat *tandem offloading system* terjadi.

4.1 Pemodelan Struktur

4.1.1 Pemodelan pada Software Maxsurf

Pemodelan awal *body* FSO dan *shuttle tanker* menggunakan *software* Maxsurf bertujuan untuk mendapatkan koordinat-koordinat bentuk *body* FSO dan *shuttle tanker*, serta untuk mendapatkan data hidrostatik model. Pemodelan dengan menggunakan *software maxsurf* dilakukan dengan memasukkan *general arrangement* masing-masing FSO dan *shuttle tanker* pada *software maxsurf*, maka didapatkan koordinat-koordinat FSO dan *shuttle tanker* yang selanjutnya digunakan untuk melakukan pemodelan di *software ansys aqwa*.

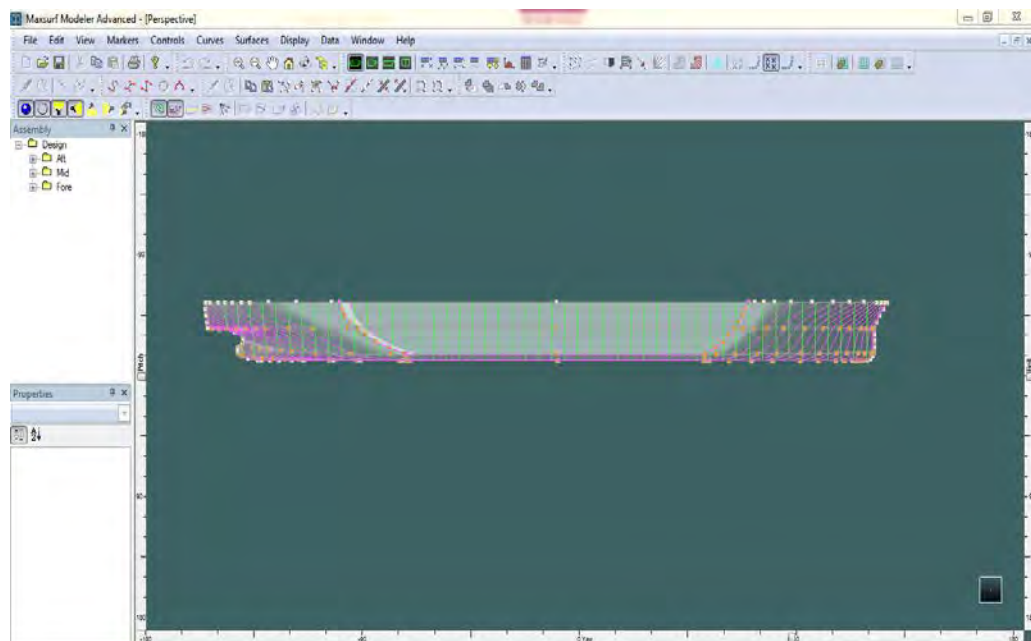
4.1.1.1 Pemodelan FSO Ladinda

Pemodelan FSO Ladinda dilakukan pada dua (2) kondisi, yaitu kondisi *full condition* dan *light-ship condition*. Data (Tabel 4.1) yang digunakan sebagai input pemodelan FSO Ladinda pada *software* Maxsurf antara lain:

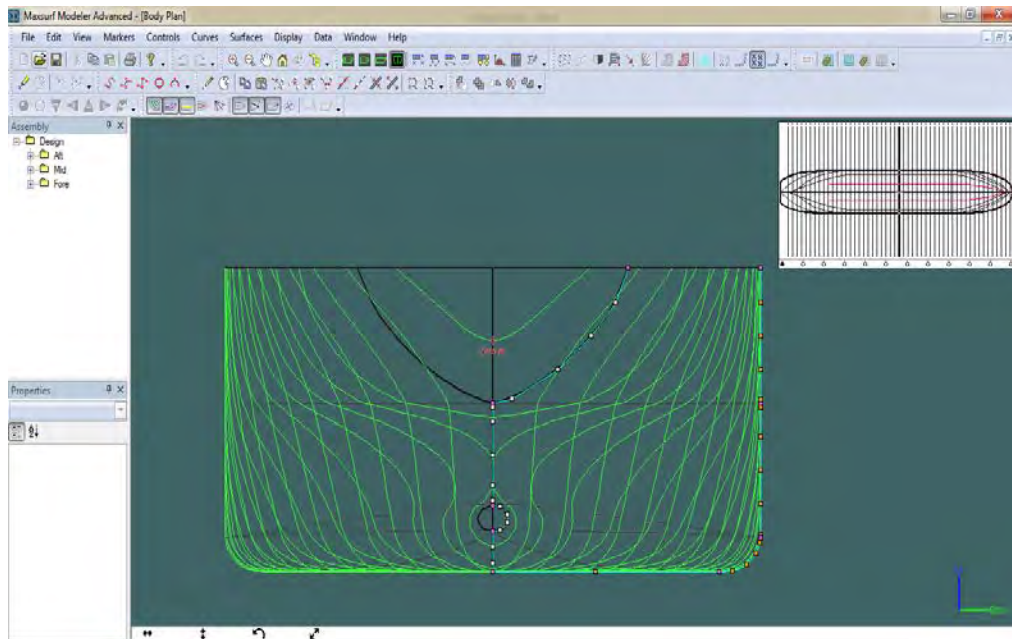
Tabel 4.1 *Principle Dimension* FSO Ladinda

Designation	Units	Minimum Operating Draft	Maximum Operating Draft
Length, LOA	m	284	
Length, LBP	m	272	
Breadth, B	m	43.4	
Depth, D	m	20.6	
Draft, T	m	15.725	2.41

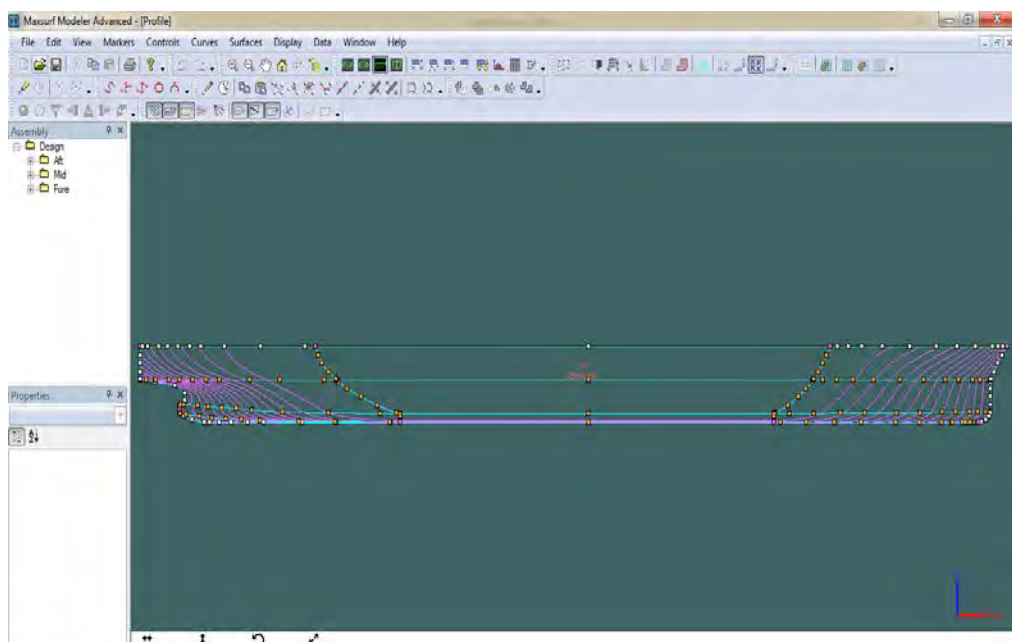
Hasil pemodelan FSO Ladinda seperti tampak pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4 berikut ini:



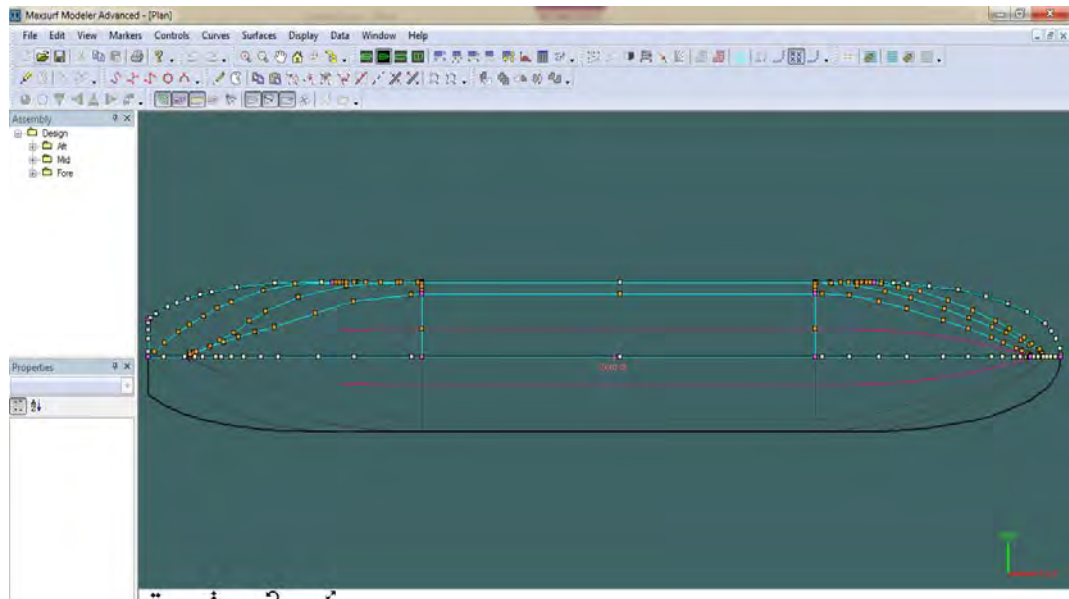
Gambar 4.1 Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak isometric



Gambar 4.2 Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak depan (*body plan*)



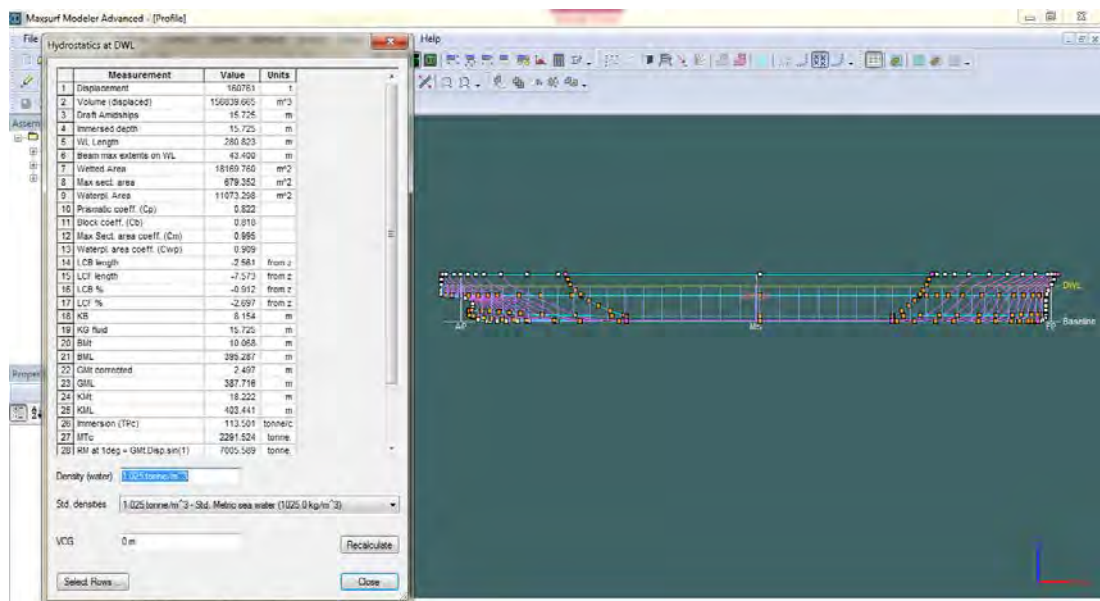
Gambar 4.3 Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak samping (*sheer plan*)



Gambar 4.4 Hasil pemodelan FSO Ladinda pada Maxsurf tampak atas (*halfbreadth plan*)

4.1.1.2 Validasi Model FSO Ladinda

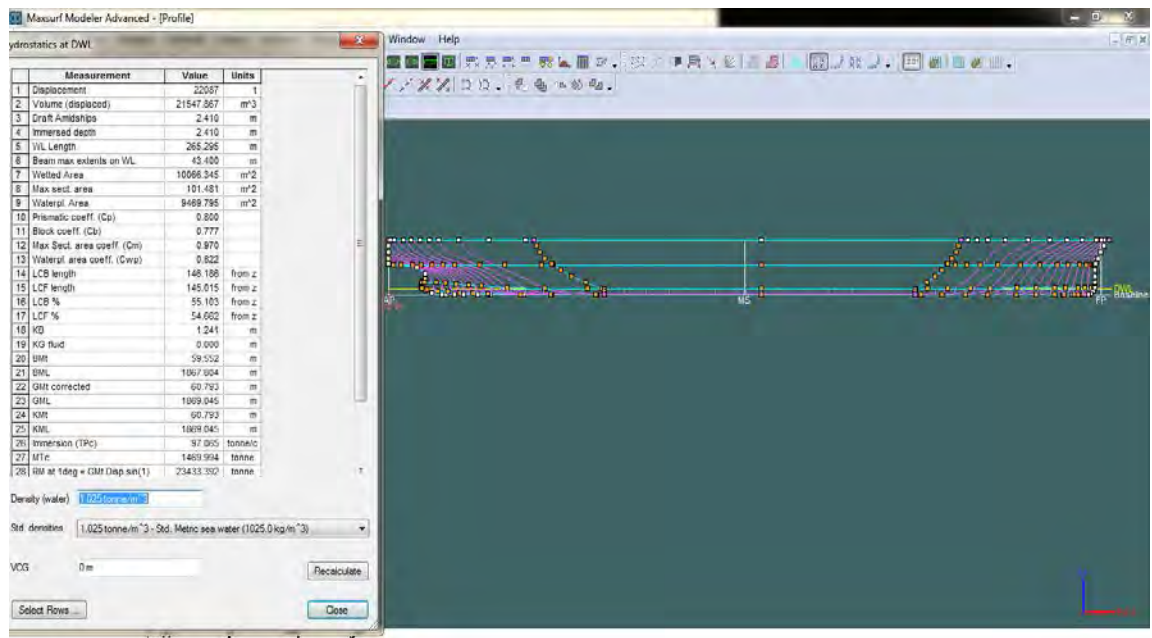
Validasi output model FSO Ladinda (Gambar 4.5) dilakukan dengan membandingkan data hidrostatis hasil pemodelan (Tabel 4.2) dengan data hidrostatis FSO Ladinda yang sudah ada. Hidrostatis merupakan faktor yang mempengaruhi pergerakan bangunan struktur apung. Validasi FSO Ladinda dilakukan pada *full condition* dan *light condition* (Tabel 4.2 dan Tabel 4.3).



Gambar 4.5 Hasil output data hidrostatis dari maxsurf

Tabel 4.2Validasi data hidrostatik FSO Ladinda*full condition*

Density (Sea Water)	1.025	tonne/m ³			
Tolerance	5	%			
	Data	Maxsurf	Koreksi (%)	Units	Keterangan
Displacement	161810.00	160761	0.006	tonne	Accept
Volume	154630.19	156839.665	-0.014	m ³	Accept
Draft to Baseline	15.73	15.725	0.000	m	Accept
Immersed depth	15.73	15.725	0.000	m	Accept
Lwl	280.80	280.8	0.000	m	Accept
Beam wl	43.40	43.4	0.000	m	Accept
Prismatic Coeff	0.84	0.822	0.021		Accept
Block Coeff	0.83	0.818	0.014		Accept
Midship Area Coeff	1.00	0.995	0.005		Accept
Waterpl. Area Coeff	0.92	0.909	0.012		Accept
LCB from zero pt	143.83	133.893	0.072	m	Accept
LCF from zero pt	138.18	128.42	-0.071	m	Accept
KB	7.75	8.154	-0.052	m	Accept
KMt	17.69	18.222	-0.030	m	Accept
Precision	50 stations	Medium	50 stations	50 stations	Accept



Gambar 4.6Hasil output data hidrostatik dari maxsurf

Density (Sea Water)	1.025	tonne/m ³			
Tolerance	5	%			
	Data	Maxsurf	Koreksi (%)	Units	Keterangan
Displacement	21614.00	22087	-0.02	tonne	Accept
Volume	21337.18	21553.79	-0.01	m ³	Accept
Draft to Baseline	2.41	2.41	0.00	m	Accept
Immersed depth	2.41	2.41	0.00	m	Accept
Lwl	265.30	265.30	0.00	m	Accept
Beam wl	43.40	43.40	0.00	m	Accept
LCB from zero pt	146.11	147.76	-0.01	m	Accept
LCF from zero pt	145.52	146.589	-0.001	m	Accept
KB	1.18	1.24	-0.05	m	Accept
KMt	61.60	60.83	0.01	m	Accept
Precision	50 stations	Medium	50 stations	50 stations	Accept

Tabel 4.3Validasi data hidrostatik FSO Ladinda^{light}condition

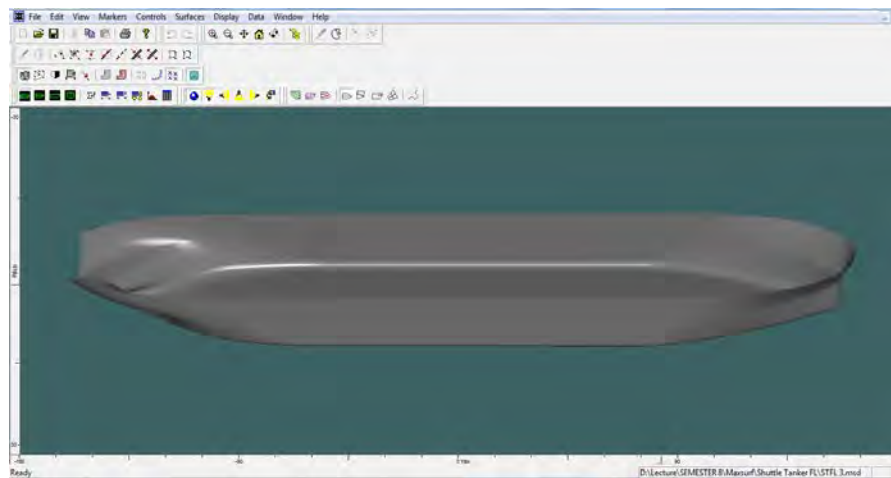
4.1.1.3 Pemodelan Tanker M.S. Pacific Leo

Untuk *Shuttle Tanker*, data yang digunakan adalah Tanker M.S. Pacific Leo yang pernah melakukan proses Lifting di Lalang terminal dengan FSO Ladinda.*Principle Dimension* Tanker M.S. Pacific Leo sebagai *input* pada Maxsurf seperti yang terlihat pada table 4.4.

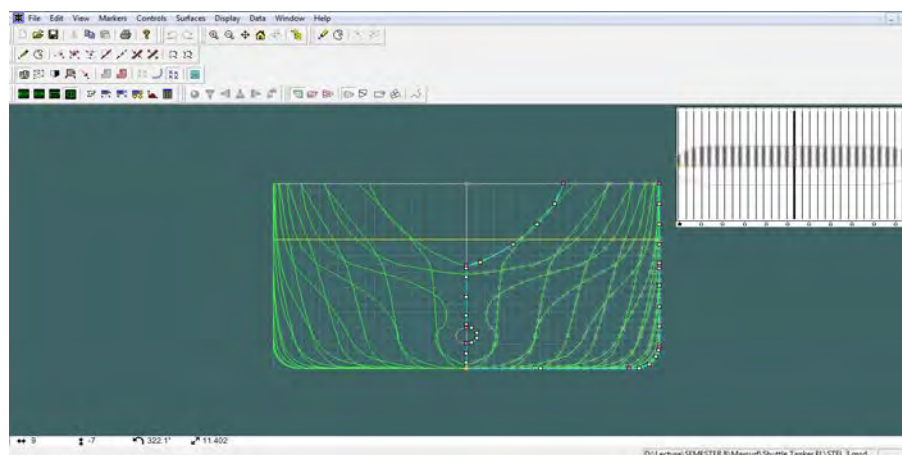
Tabel 4.4*Principle Dimension* Tanker M.S. Pacific Leo

Designation	Units	Minimum Draft	Maximum Draft
Length, LOA	m	246.78	
Length, LBP	m	235	
Breadth, B	m	42	
Depth, D	m	21.3	
Draft, T	m	14.798	2.3

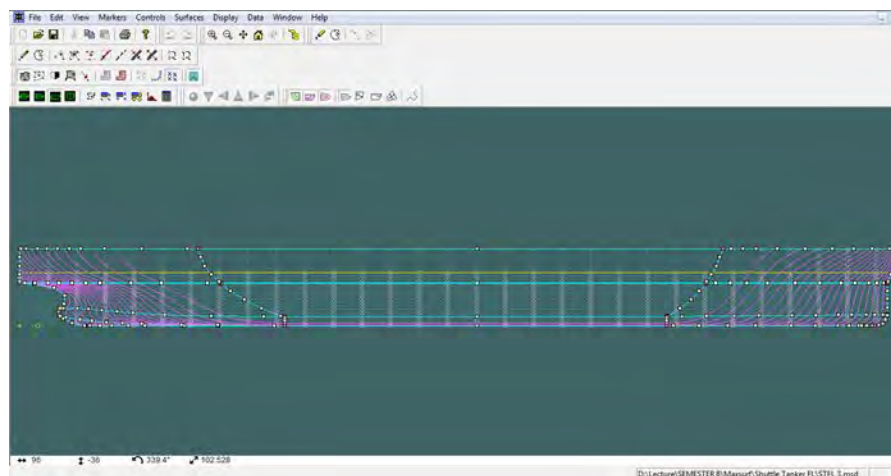
Hasil pemodelan Tanker M.S. Pacific Leo seperti tampak pada Gambar 4.7 sampai 4.10.



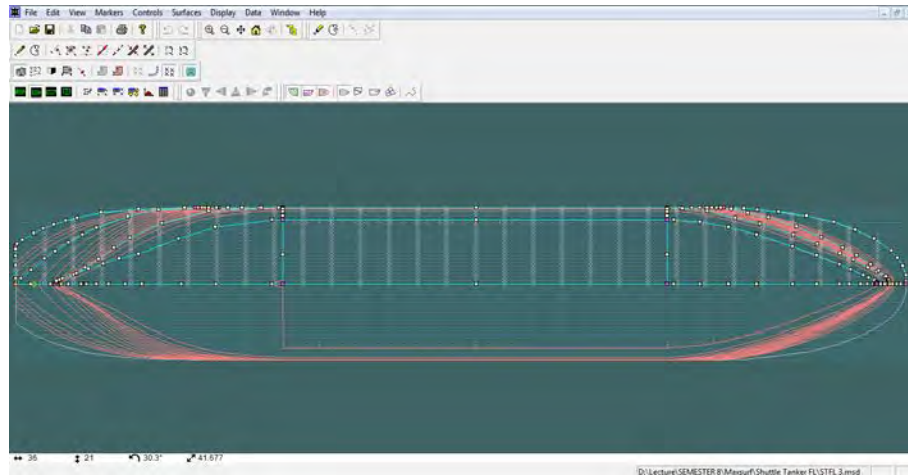
Gambar 4.7 Hasil pemodelan Tanker M.S. Pacific Leo pada Maxsurf tampak isometric



Gambar 4.8 Hasil pemodelan M.S. Pacific Leo pada Maxsurf tampak depan (*body plan*)



Gambar 4.9 Hasil pemodelan M.S. Pacific Leo pada Maxsurf tampak samping (*sheer plan*)



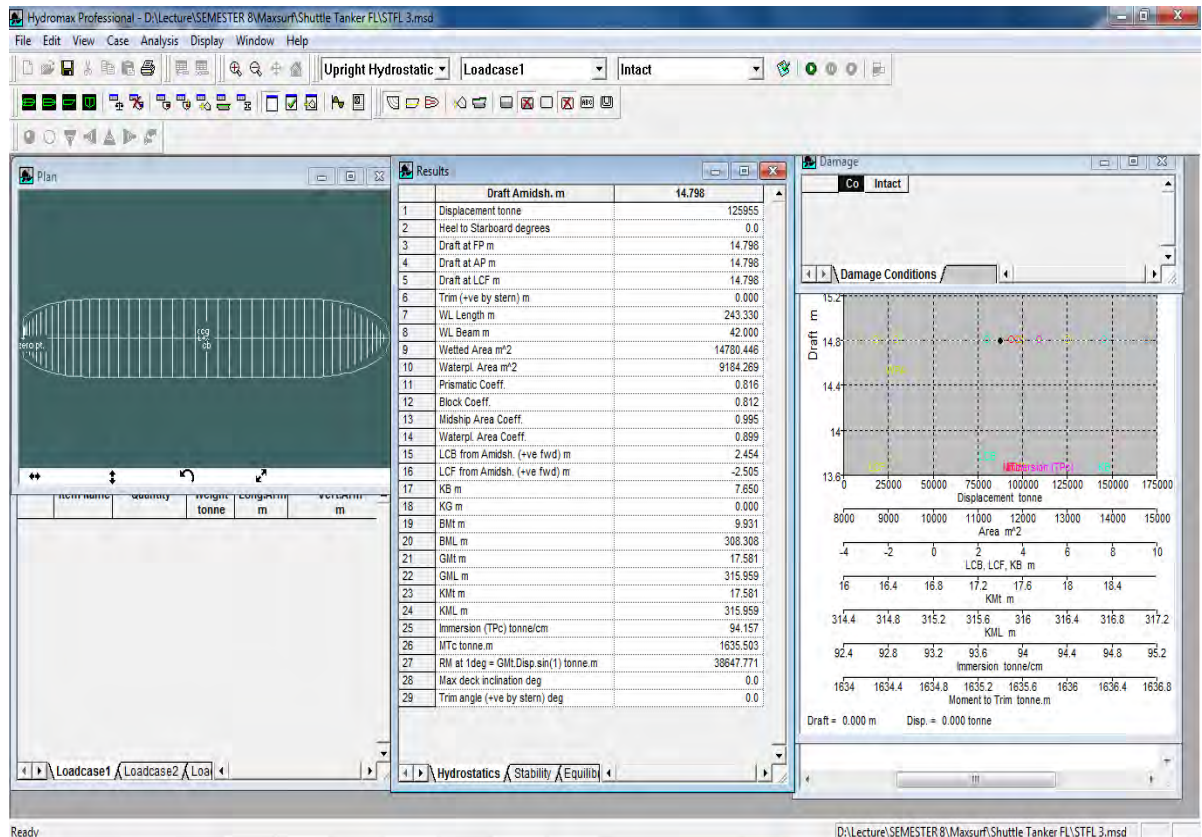
Gambar 4.10 Hasil pemodelan M.S. Pacific Leo pada Maxsurf tampak atas (*halfbreadth plan*)

4.1.1.4 Validasi Model Tanker M.S. Pacific Leo

Validasi model untuk Tanker M.S. Pacific Leo (Tabel 4.5 dan Gambar 4.11) dilakukan terhadap *displacement*nya saja, mengingat *shuttle tanker* untuk proses *offloading* bukan hanya satu *tanker* saja akan tetapi banyak jenisnya.

Tabel 4.5 Validasi data hidrostatik Tanker M.S. Pacific Leo

Density (Sea Water)	1.025	tonne/m ³			
Tolerance	5	%			
	Data	Maxsurf	Koreksi (%)	Units	Keterangan
Displacement	123872.00	125955.00	-0.02	tonne	Accept
Volume	122702.17	122862.94	0.00	m ³	Accept
Draft to Baseline	14.80	14.80	0.00	m	Accept
Immersed depth	14.80	14.80	0.00	m	Accept
Lwl	246.78	243.33	0.01	m	Accept
Beam wl	42.00	42.00	0.00	m	Accept
Cb	0.80	0.81	-0.01		Accept



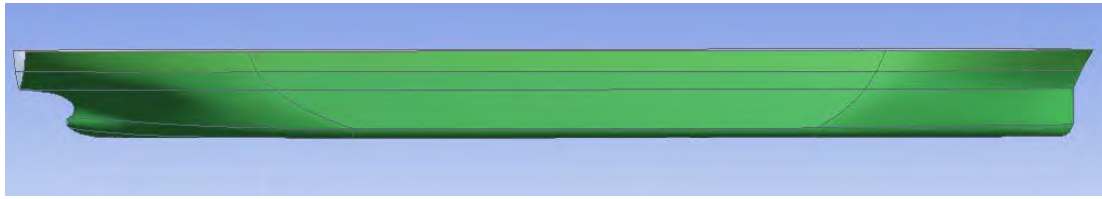
Gambar 4.11 Hasil output data hidrostatik dari maxsurf

4.1.2 Pemodelan pada Software ANSYS AQWA

Berdasarkan tabel-tabel dari validasi pemodelan software maxsurf diatas, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh daripemodelan Maxsurf untuk FSO Ladinda baik kondisi *full condition* maupun *light condition* dan *shuttle tanker* memiliki kesesuaian dengan data yang ada dengan perbedaan atau *error* kurang dari 5% atau 0.05. Dengan demikian, hasil pemodelan Maxsurf untuk FSO Ladinda dan *shuttle tanker* valid untuk digunakan sebagai *input* pada pemodelan ANSYS AQWA. Pemodelan ANSYS AQWA dilakukan sebelum melakukan analisis perilaku gerak struktur.

4.1.2.1 Pemodelan ANSYS AQWA FSO Ladinda

Hasil *output* ANSYS AQWA untuk FSO Ladinda dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13:



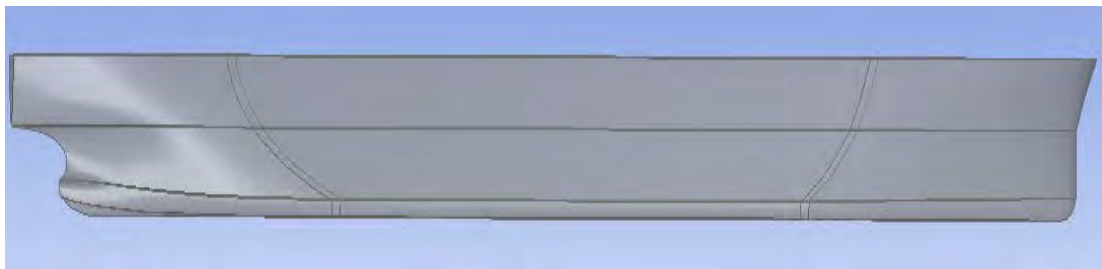
Gambar 4.12FSO Ladinda *output* ANSYS AQWA tampak isometric



Gambar 4.13FSO Ladinda *output* ANSYS AQWA tampak atas

4.1.2.2 Pemodelan ANSYS AQWA Tanker M.S. Pacific Leo

Hasil *output* ANSYS AQWA untuk Tanker M.S. Pacific Leo dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan 4.15.



Gambar 4.14Tanker M.S. Pacific Leo*output* ANSYS AQWA tampak isometric

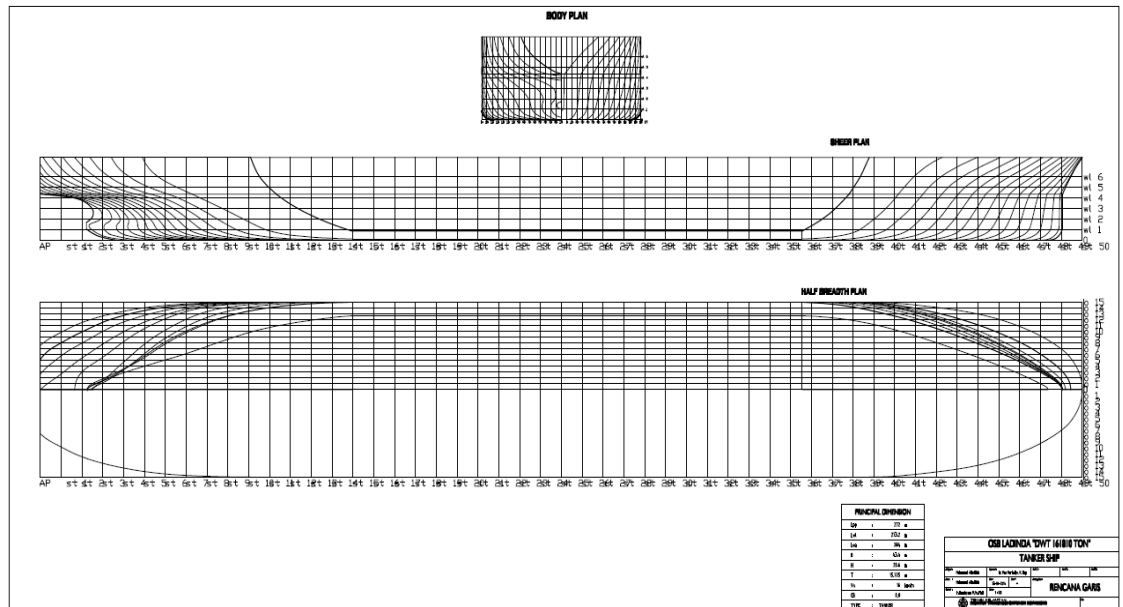


Gambar 4.15Tanker M.S. Pacific Leo*output* ANSYS AQWA tampak atas

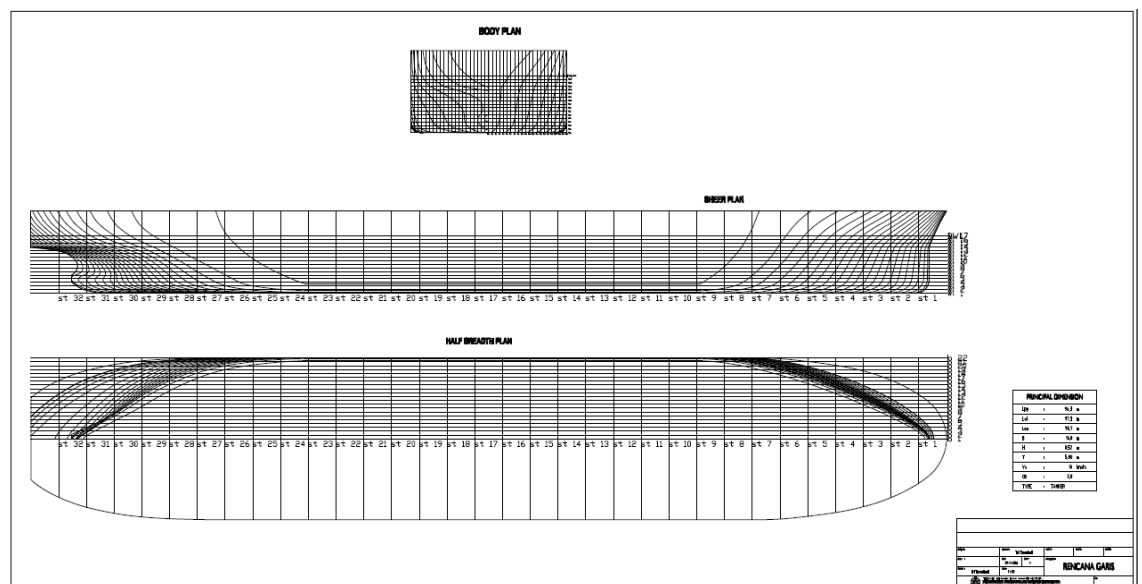
4.1.3 Lines Plan

Hasil pemodelan dari Maxsurf yang telah divalidasi sebelumnya perlu dibuat rencana garis atau *lines plan* dari model-model tersebut. *Lines plan* yang dibuat

ialah *linesplan* FSO Ladinda(Gambar 4.16) dan *Shuttle Tanker*(Gambar 4.17).*Lines plan* dibuat berdasarkan *offset* model hasil *output* Maxsurf yang telahdivalidasi.



Gambar 4.16Maxsurf Lines Plan FSO Ladinda



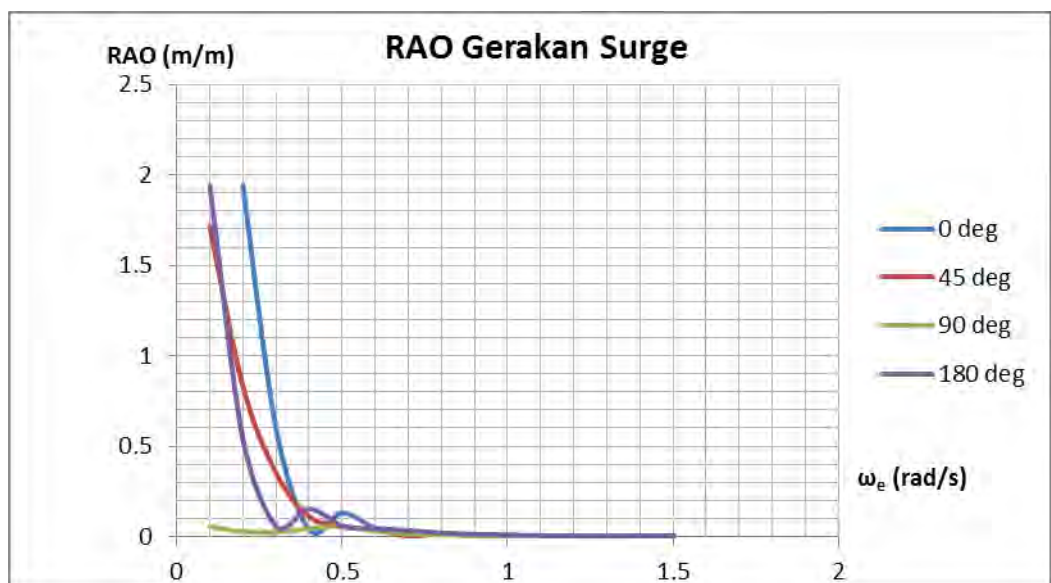
Gambar 4.17Maxsurf Lines Plan Tanker MS Pacific Leo

4.2 Analisis Gerakan Struktur pada Kondisi *Free Floating*

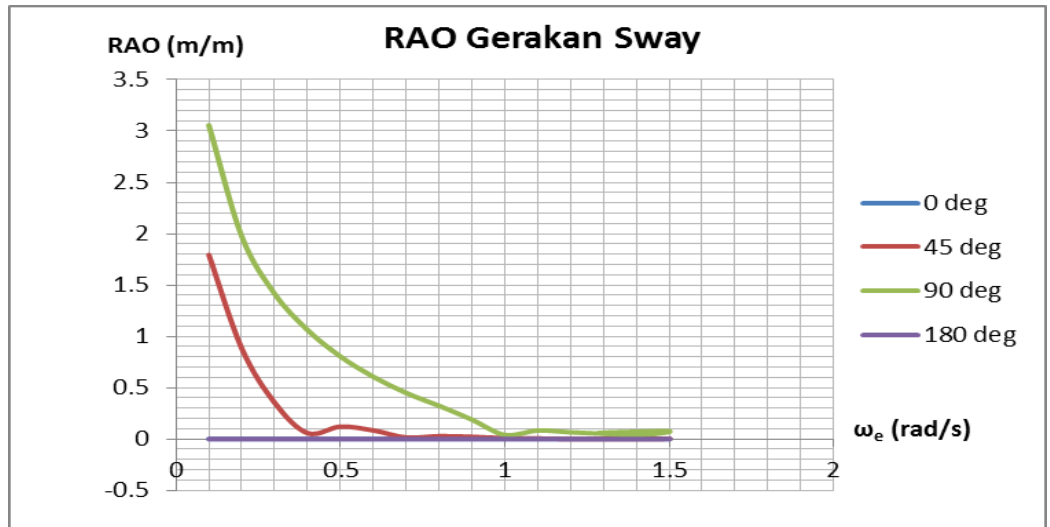
Setelah melakukan pemodelan struktur FSO dan *Shuttle Tanker* langkah selanjutnya adalah analisis gerakan FSO dan *Shuttle Tanker* pada kondisi *free floating*, pada kondisi FSO tertambat ke SPOLSDan pada saat FSO *tandem*dengan *Shuttle Tanker*. Analisis gerakan ini dibantu dengan menggunakan *software* ANSYS AQWA. *Running* dengan ANSYS AQWA menghasilkan *amplitude* respon gerak masing-masingstruktur. Analisis RAO *motion* ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerakan kapal pada mode gerakan *surge*, *heave*, *sway*, *roll*, *pitch* dan *yaw*.Grafik fungsi transfer (RAO/*Response Amplitude Operator*) digambarkan sebagai grafik fungsi antara respon gerakan suatu bangunan apungakibat eksitasi yang terjadi. Setiap arah eksitasi mengakibatkan respon gerakanyang berbeda. Dari grafik RAO dapat dilihat bahwa sumbu xmerupakan fungsi frekuensi (ω) dan sumbu y merupakan fungsi RAO.Analisis gerakan FSO dan *Shuttle Tanker* pada kondisi terapung bebas dilakukan dalam empat arah pembebanan. Arah pembebanan untuk analisis ini adalah following seas (0°), quartering seas (45°), beam seas (90°) dan head seas (180°).

4.2.1 RAO FSO Ladinda

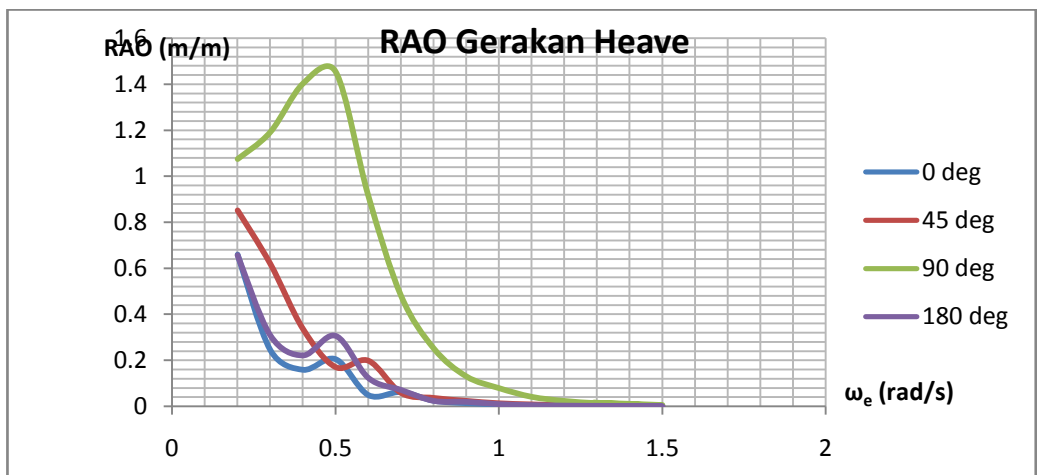
4.2.1.1 Full Condition



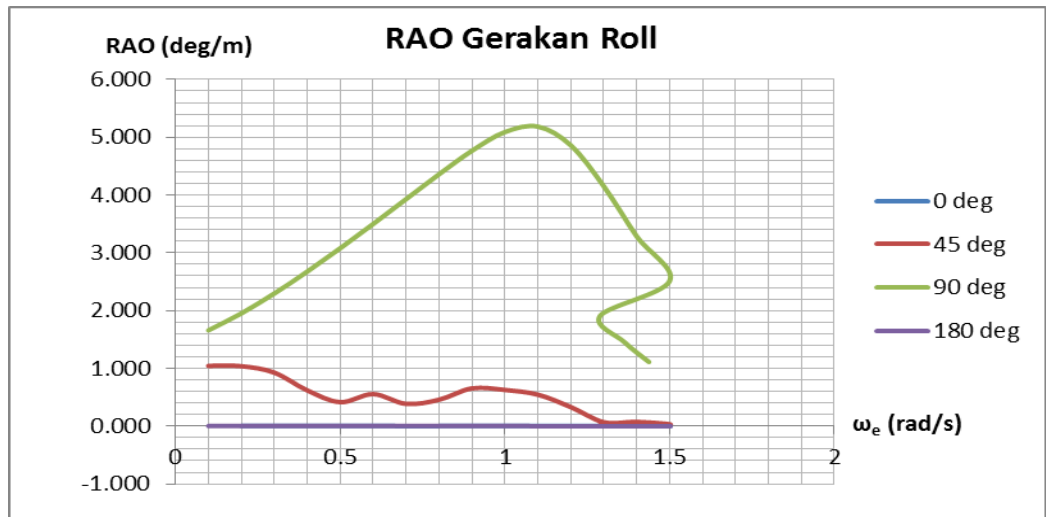
Gambar 4.18 Grafik RAOsurgeFSO Ladinda *full load*



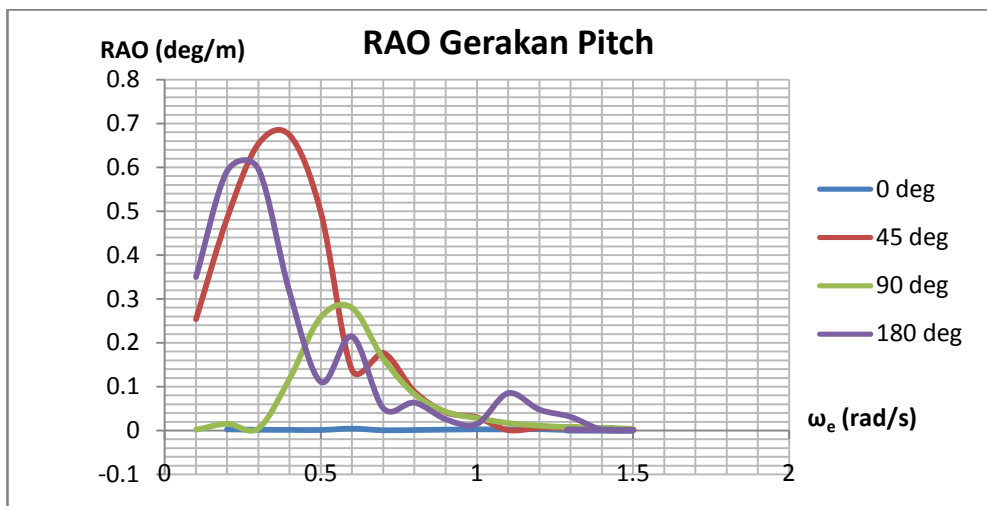
Gambar 4.19 Grafik RAO gerakan sway FSO Ladinda *full load*



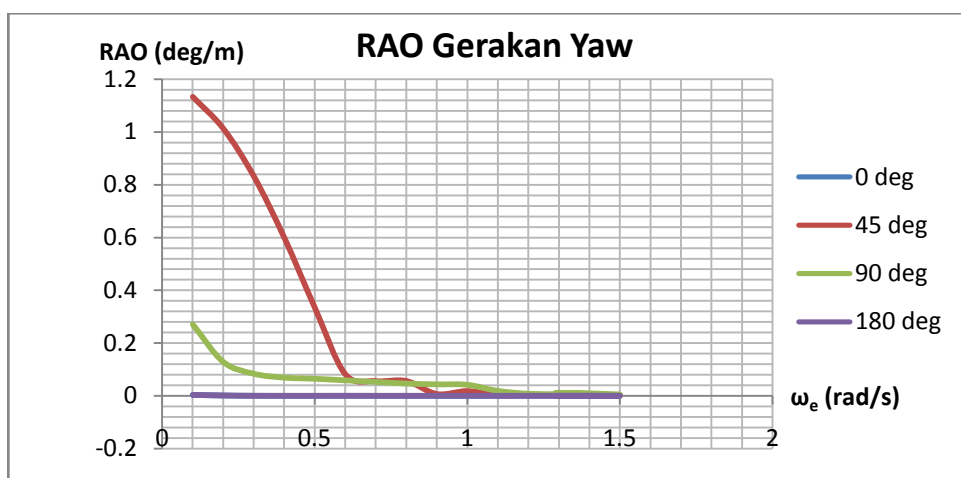
Gambar 4.20 Grafik RAO gerakan heave FSO Ladinda *full load*



Gambar 4.21 Grafik RAO gerakan roll FSO Ladinda *full load*



Gambar 4.22 Grafik RAO gerakan pitch FSO Ladinda *full load*



Gambar 4.23 Grafik RAO gerakan yaw FSO Ladinda *full load*

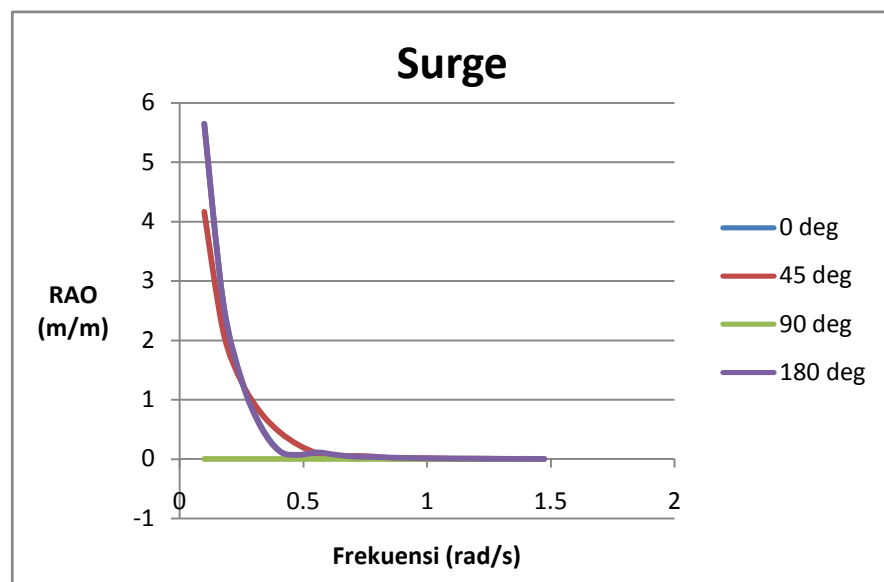
Tabel 4.6 Nilai maksimum RAO FSO Ladinda *fullload condition*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	1.978	1.723	0.059	1.963	1.978
<i>Sway</i>	m/m	0.000	1.787	3.146	0.000	3.146
<i>Heave</i>	m/m	1.604	0.969	1.503	1.922	1.604
<i>Roll</i>	deg/m	0.000	1.038	5.991	0.000	5.991
<i>Pitch</i>	deg/m	0.653	0.704	0.277	0.736	0.736
<i>Yaw</i>	deg/m	0.000	1.121	0.377	0.000	1.121

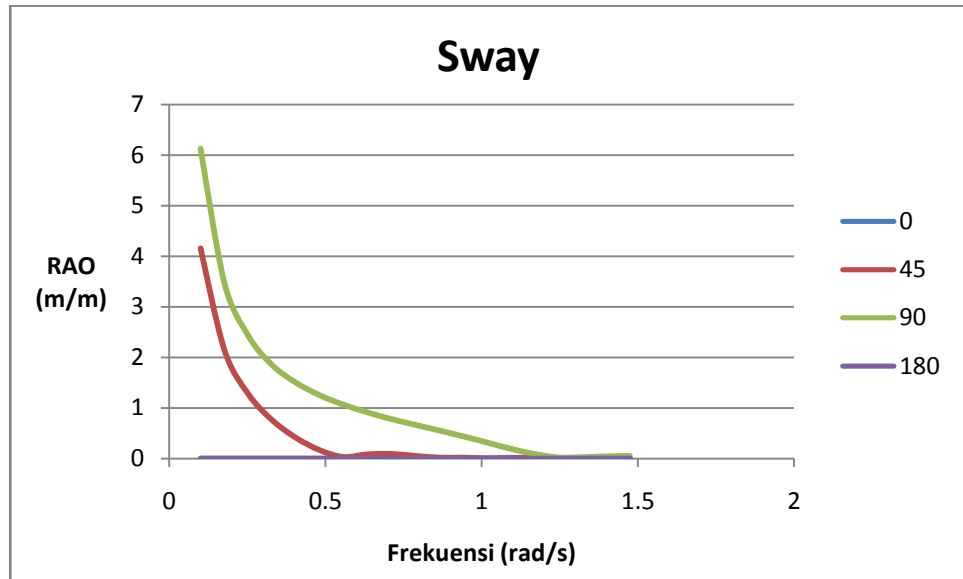
Berdasarkan Gambar grafik 4.21 sampai Gambar 4.26 dan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 1.978 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 3.146 (m/m), dan *heave* tertinggi sebesar 1,604 (m/m) pada *heading* 90°. Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 5.991 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.736 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 1.121 (deg/m) pada *heading* 45°. RAO tertinggi untuk semua moda gerakan terjadi pada frekuensi (ω), yaitu antara 0.3-1.4 rad/s.

4.2.1.2 Light Condition

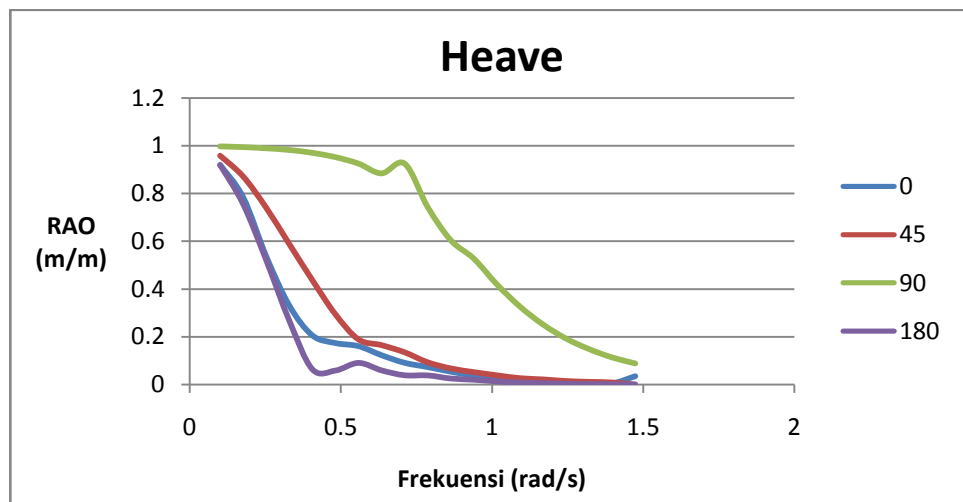
Gambar 4.2 Grafik RAO Gerakan surge FSO Ladinda *light condition*



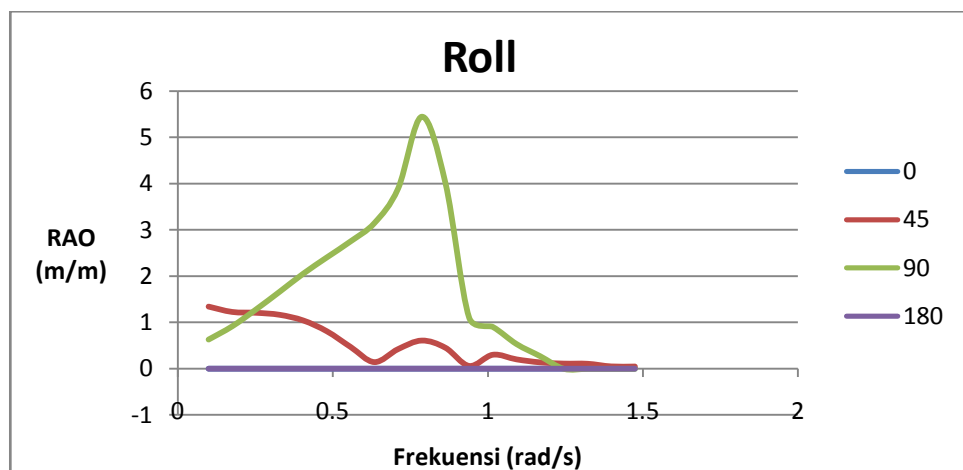
condition



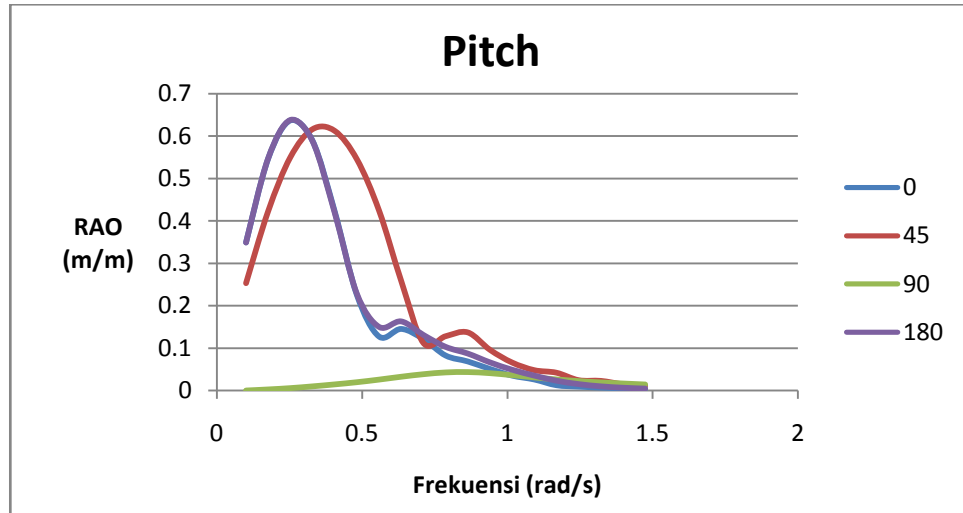
Gambar 4.25 Grafik RAO gerakan sway FSO Ladindalight condition



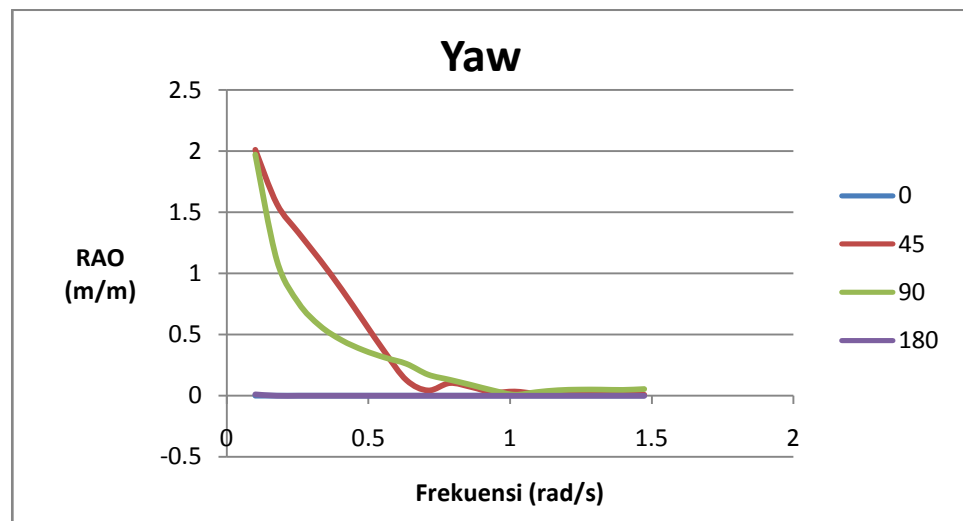
Gambar 4. 26 Grafik RAO gerakan heave FSO Ladindalight condition



Gambar 4.27 Grafik RAO gerakan roll FSO Ladinda *light condition*



Gambar 4.28 Grafik RAO gerakan pitch FSO Ladinda *light condition*



Gambar 4.29 Grafik RAO gerakan yaw FSO Ladinda *light condition*

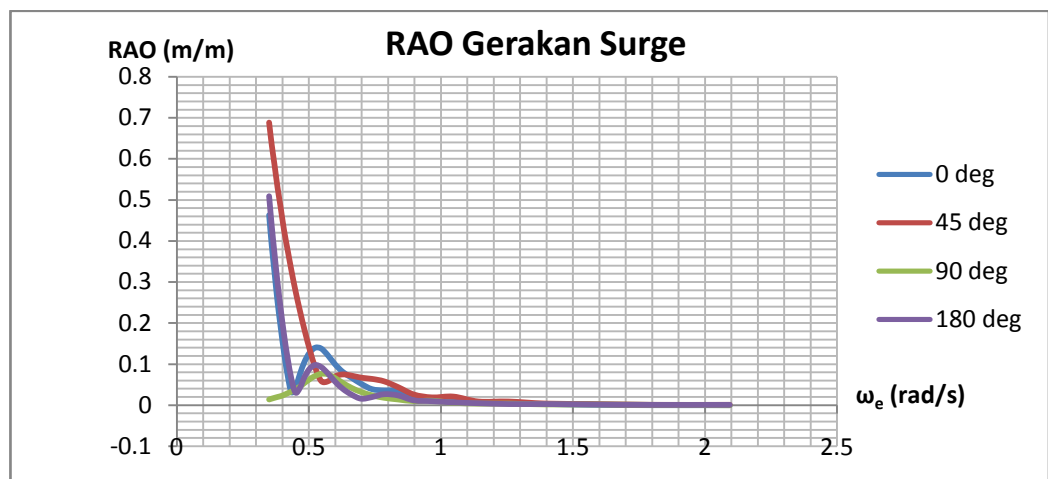
Tabel 4.7 Nilai maksimum RAO FSO Ladinda *light condition*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	5.560	4.409	0.682	5.824	5.824
<i>Sway</i>	m/m	0.001	4.521	6.655	0.001	6.655
<i>Heave</i>	m/m	1.012	0.958	0.968	0.893	1.012
<i>Roll</i>	deg/m	0.000	2.256	5.199	0.000	5.199
<i>Pitch</i>	deg/m	0.673	0.452	0.234	0.653	0.452
<i>Yaw</i>	deg/m	0.000	2.177	0.156	0.000	2.177

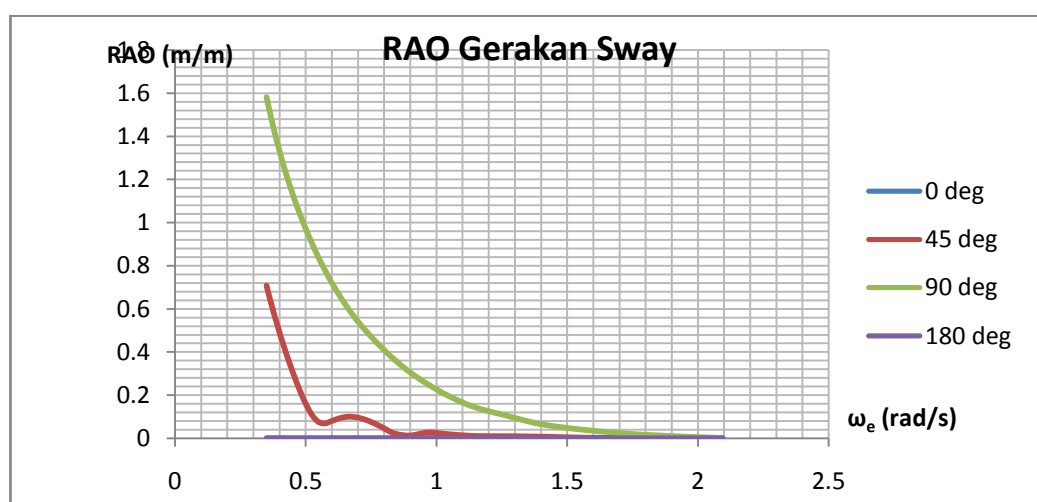
Berdasarkan Gambar Garafik 4.27 sampai Gambar Grafik 4.32 untuk RAO FSO Ladinda *light condition, surge* terbesar terjadi pada frekuensi 43.824rad/s dengan arah pembebanan 0° . *Sway* terbesar terjadi pada frekuensi 9.655rad/s dengan arah pembebanan 90° . *Heave* terbesar pada frekuensi 1.168rad/s pada arah 90° . *Roll* terbesar pada frekuensi 2.256 rad/s dengan arah 45° . *Pitch* terbesar pada frekuensi 0.452 rad/s dengan arah pembebanan 45° . *Yaw* terbesar pada frekuensi 2.177 rad/s dengan arah pembebanan 45° .

4.2.2 RAO Tanker M.S. Pacific Leo

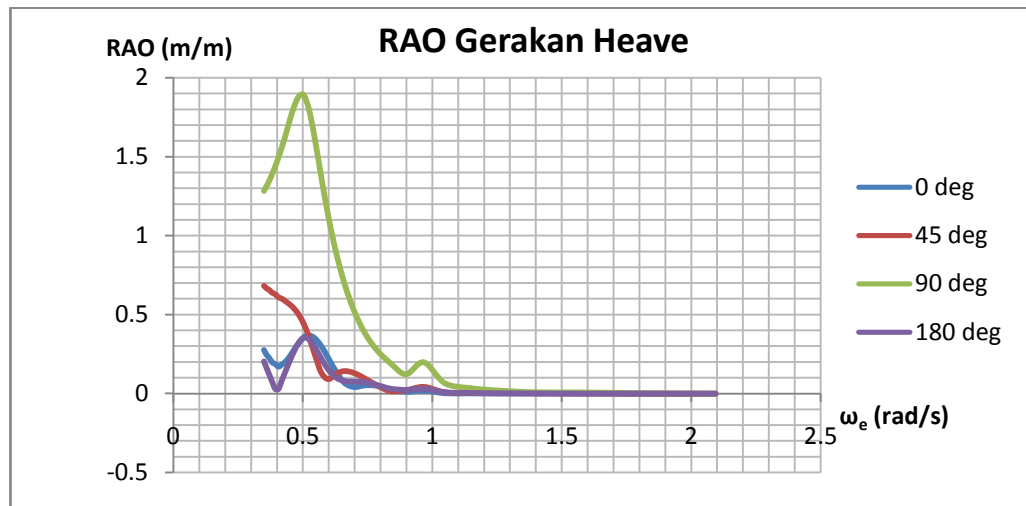
4.2.2.1 Full Condition



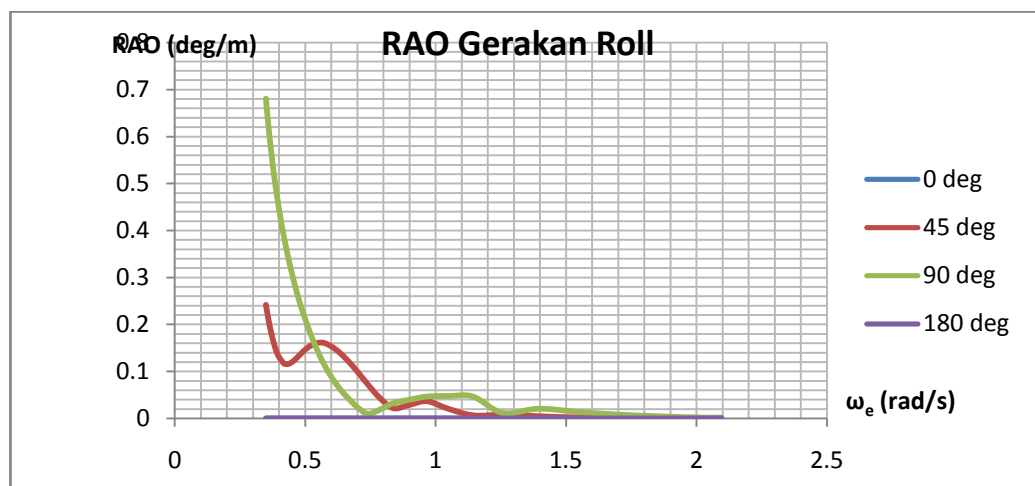
Gambar 4.30 Grafik RAO gerakan *surge Shuttle Tanker full load*



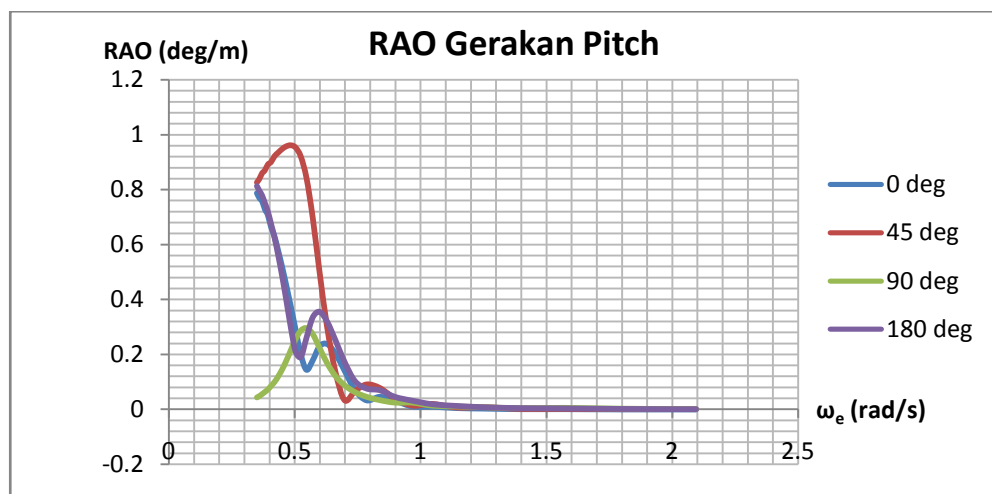
Gambar 4.31 Grafik RAO gerakan *sway Shuttle Tanker full load*



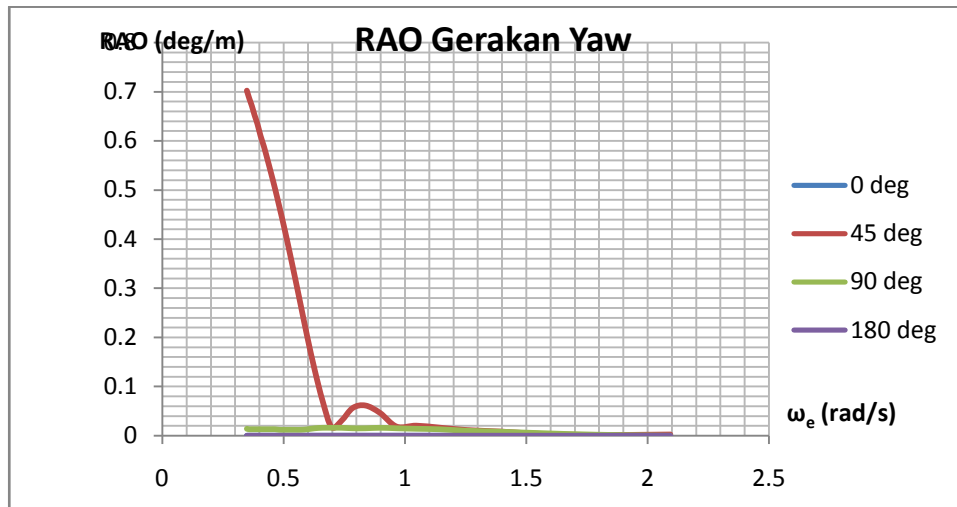
Gambar 4.32 Grafik RAO gerakan heave *Shuttle Tanker* full load



Gambar 4.33 Grafik RAO gerakan roll *Shuttle Tanker* full load



Gambar 4.34 Grafik RAO gerakan pitch *Shuttle Tanker* full load



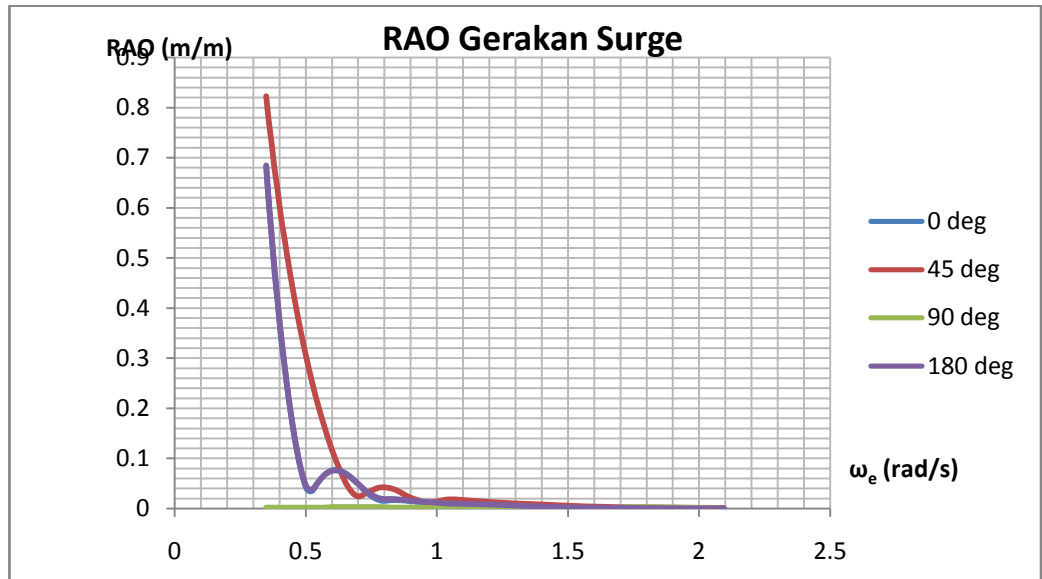
Gambar 4.35 Grafik RAO gerakan yaw *Shuttle Tanker full load*

Tabel 4.8 Nilai maksimum RAO *Shuttle Tanker full condition*

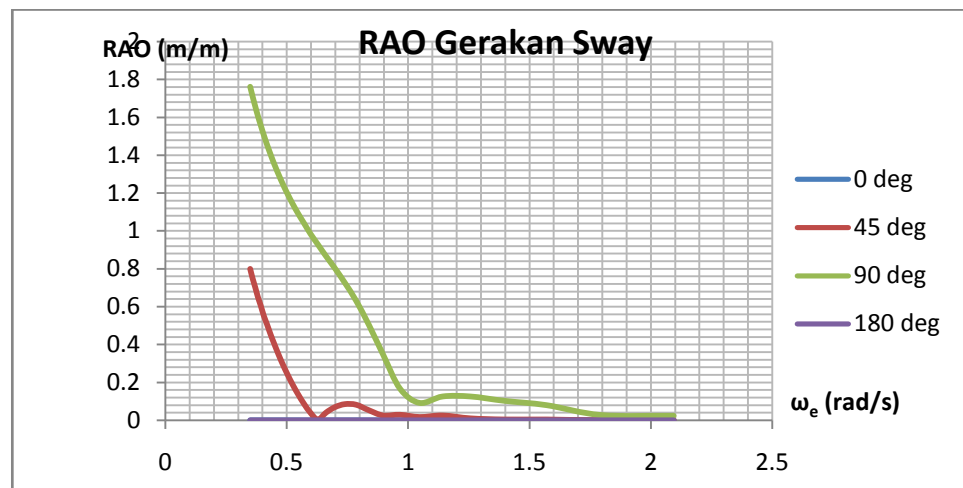
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.463	0.688	0.076	0.509	0.688
<i>Sway</i>	m/m	0	0.707	1.581	0	1.581
<i>Heave</i>	m/m	0.37	0.682	1.89	0.352	1.89
<i>Roll</i>	deg/m	0	0.242	0.681	0	0.681
<i>Pitch</i>	deg/m	0.787	0.961	0.296	0.813	0.961
<i>Yaw</i>	deg/m	0	0.702	0.016	0	0.702

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.688 (m/m) yaitu pada *heading* 45°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 1.581 (m/m), dan *heave* tertinggi sebesar 1.890 (m/m) pada *heading* 90°. Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 0.681 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.961 (deg/m) pada *heading* 45°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.702 (deg/m) pada *heading* 45°.

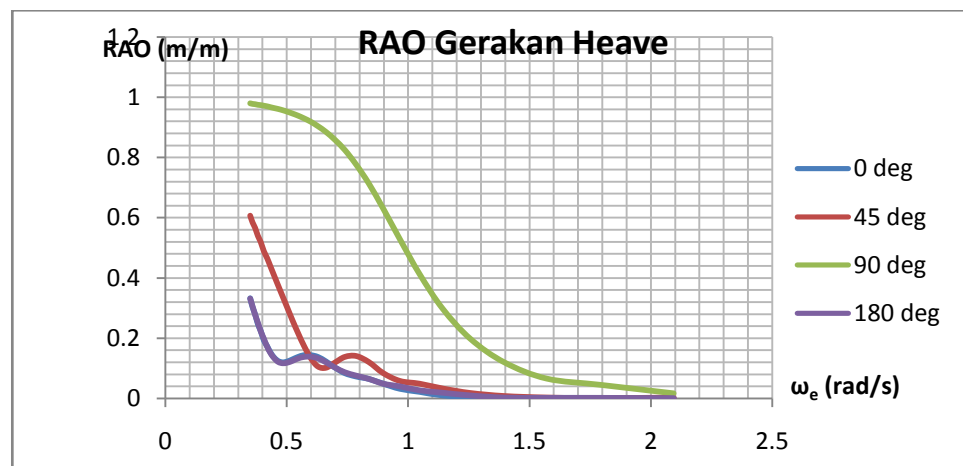
4.2.2.2 Light Condition



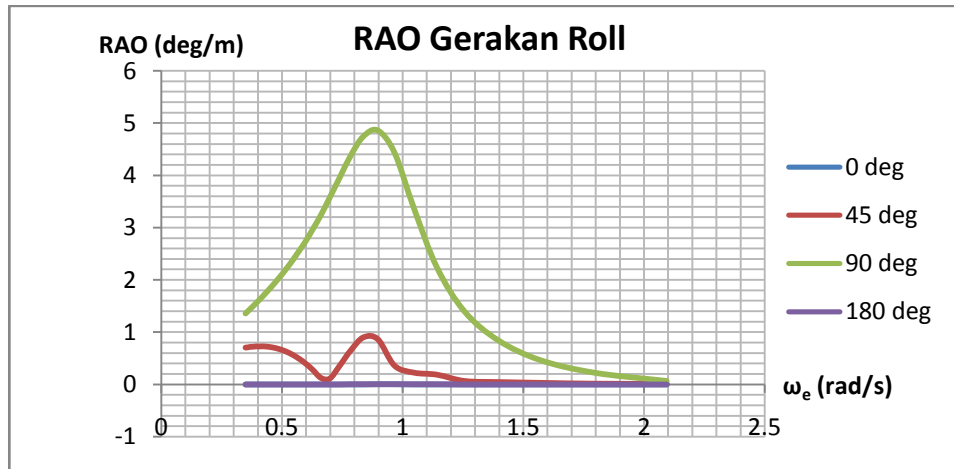
Gambar 4.36 Grafik RAO gerakan surge *Shuttle Tankerlight load*



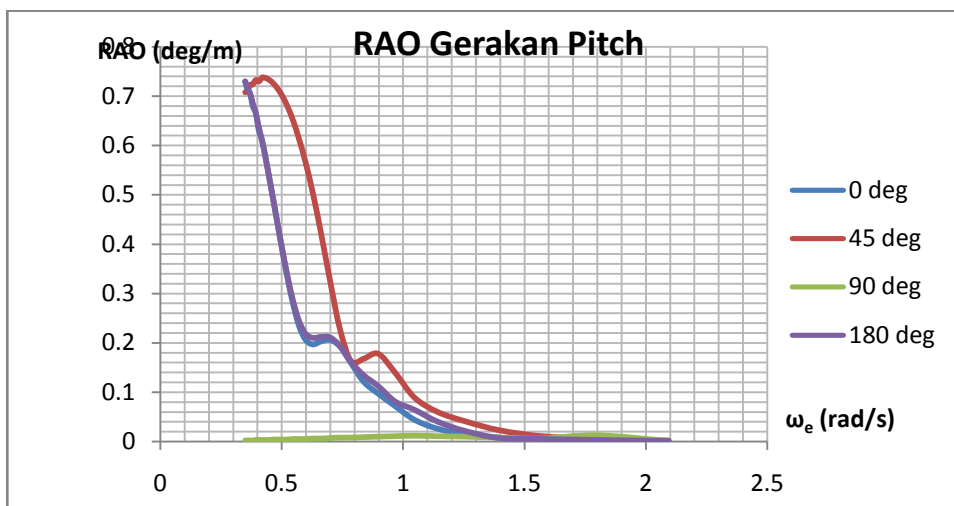
Gambar 4.37 Grafik RAO gerakan sway *Shuttle Tankerlight load*



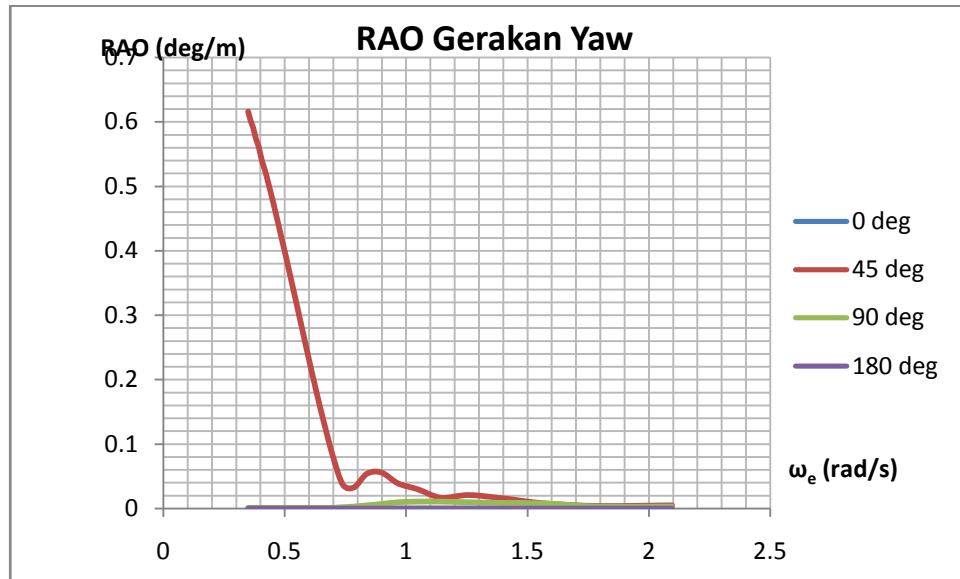
Gambar 4.38 Grafik RAO gerakan heave *Shuttle Tankerlight load*



Gambar 4.39 Grafik RAO gerakan roll *Shuttle Tankerlight load*



Gambar 4.40 Grafik RAO gerakan pitch *Shuttle Tankerlight load*



Gambar 4.41 Grafik RAO gerakan yaw *Shuttle Tankerlight load*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.638	0.863	0.000	0.585	0.863
<i>Sway</i>	m/m	0	0.0	1.761	0	1.761
<i>Heave</i>	m/m	0.233	0.407	0.98	0.132	0.98
<i>Roll</i>	deg/m	0.000	0.801	4.862	0.000	4.862
<i>Pitch</i>	deg/m	0.73	0.728	0.00	0.73	0.738
<i>Yaw</i>	deg/m	0	0.616	0.011	0	0.616

Tabel 4.9 Nilai maksimum RAO *Shuttle Tanker light condition*

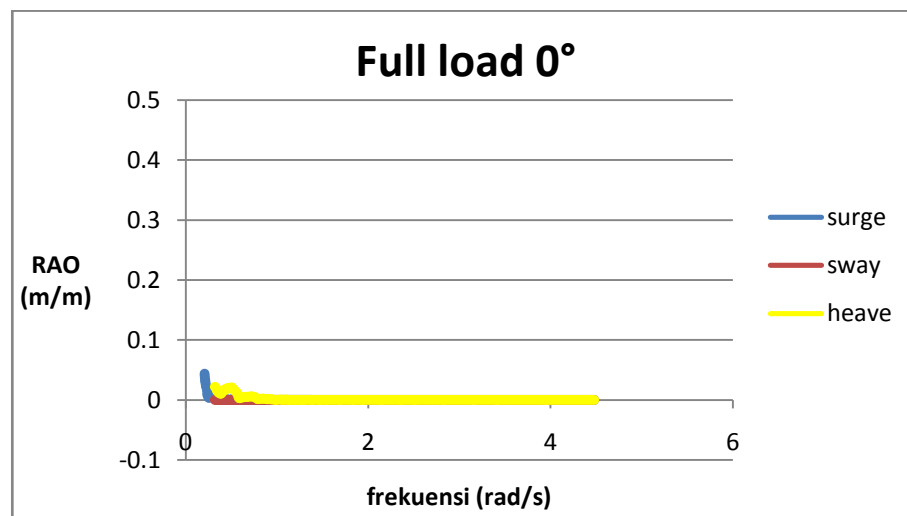
Untuk RAO *Shuttle Tankerlight condition*, *surge* terbesar terjadi pada frekuensi 0.863rad/s dengan arah pembebanan 45°. *Sway* terbesar terjadi pada frekuensi 1.761rad/s dengan arah pembebanan 90°. *Heave* terbesar pada frekuensi 0.98rad/s pada arah 90°. *Roll* terbesar pada frekuensi 4.862 rad/s dengan arah 90°. *Pitch* terbesar pada frekuensi 0.738 rad/s dengan arah pembebanan 45°. *Yaw* terbesar pada frekuensi 0.616 rad/s dengan arah pembebanan 45°. Gerakan paling dominan adalah *roll* yang memiliki nilai RAO terbesar yaitu 4.862

4.3 Analisis Gerakan Struktur pada Kondisi Tertambat

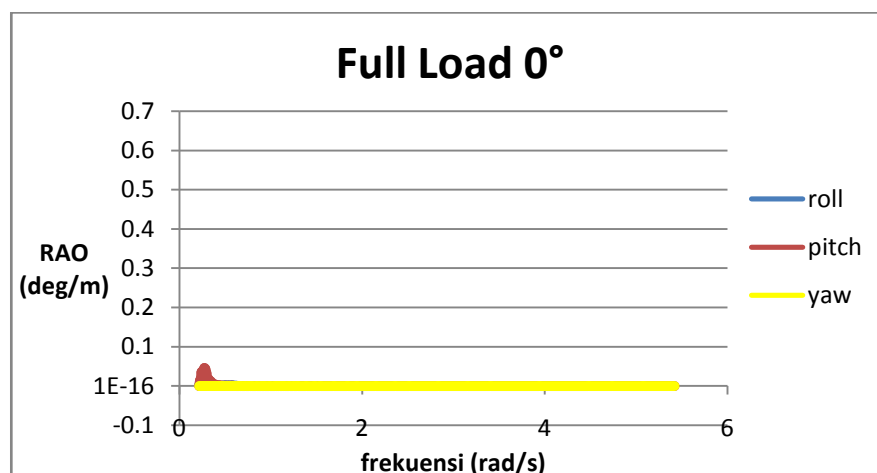
Struktur yang telah ditambah oleh rantai jangkar sesuai dengan dimensi diatas mengakibatkan respon gerak yang berbeda dari kondisi terapung bebas. Hal ini dikarenakan rantai jangkar mampu meredam gerakan struktur saat terapung bebas, sehingga RAO yang dihasilkan menjadi sangat kecil jika dibandingkan dengan RAO saat terapung bebas. Berikut ini adalah hasil dari RAO FSO Ladinda dan *Shuttle Tank* saat kondisi tertambat:

4.3.1 RAO FSO Ladinda

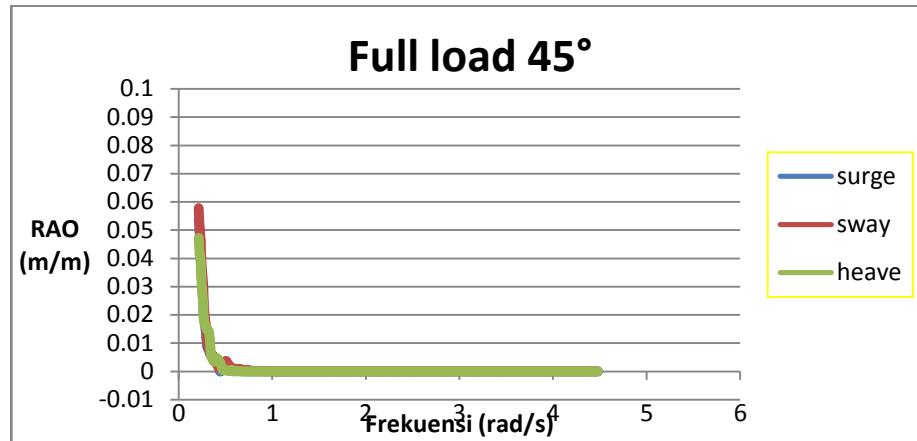
4.3.1.1 Kondisi *Full Load*



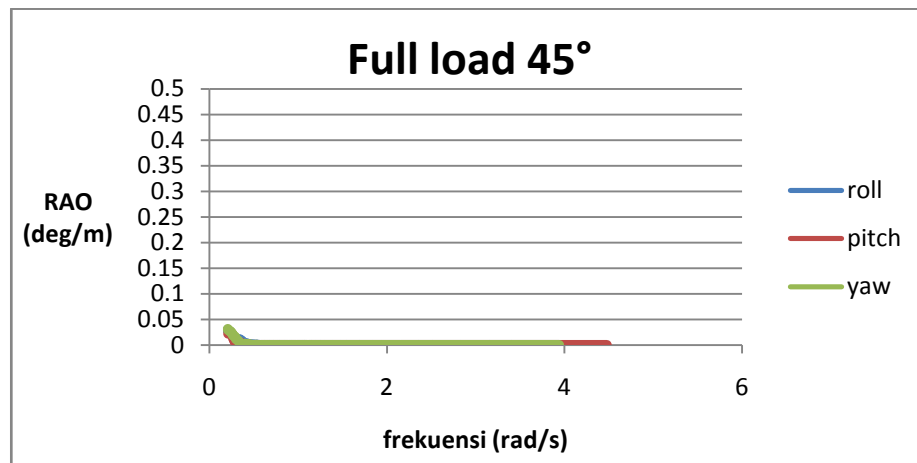
Gambar 4.42 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 0^0 kondisi *full load*



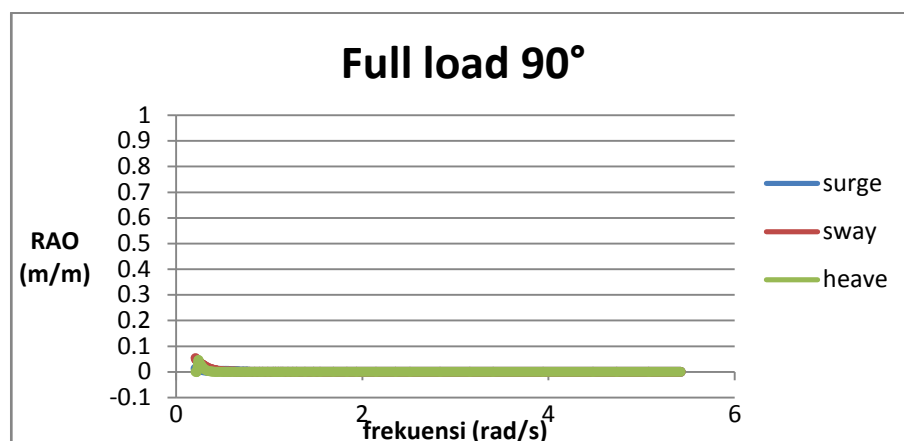
Gambar 4.43 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 0^0 kondisi *full load*



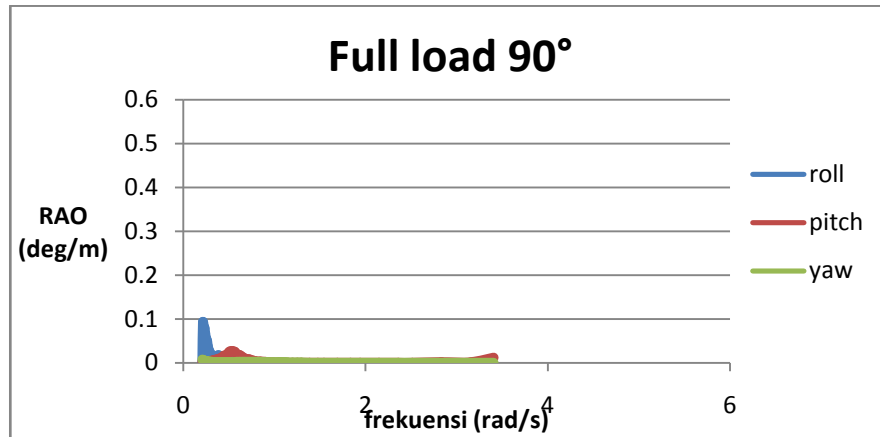
Gambar 4.44 Kurva RAO tertambatgerakan translasi FSO Ladinda arah 45° kondisi *full load*



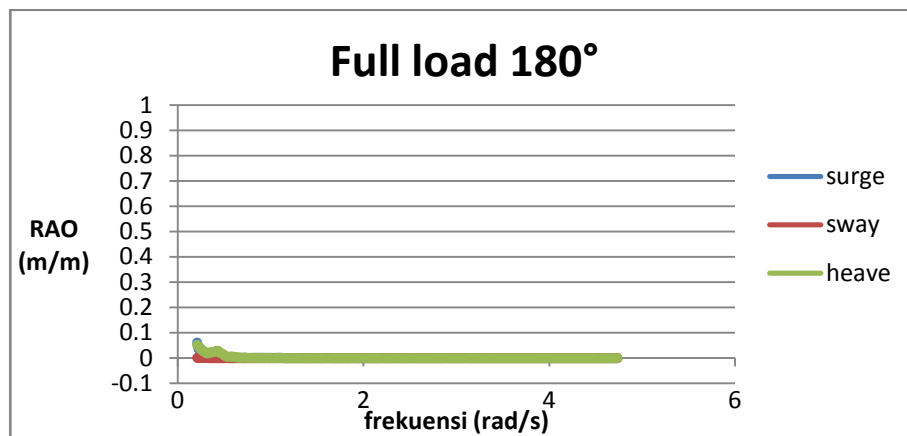
Gambar 4.45 Kurva RAO tertambatgerakan rotasi FSO Ladinda arah 45° kondisi *full load*



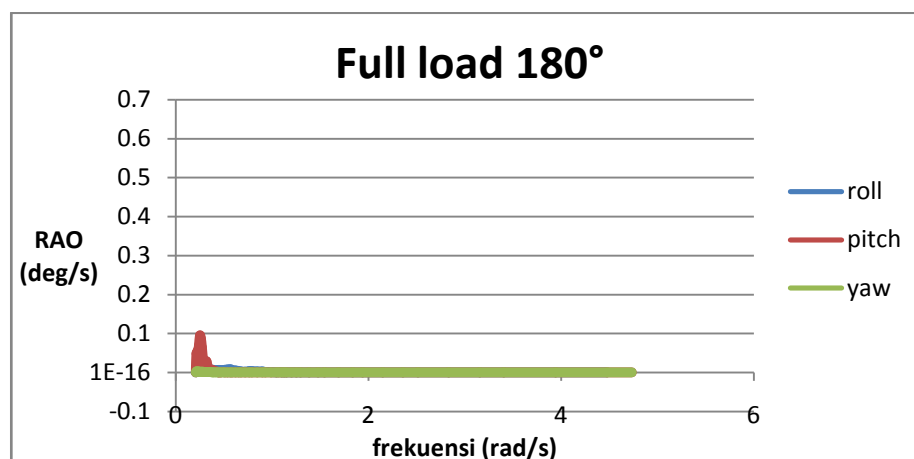
Gambar 4.46 Kurva RAO tertambatgerakan translasi FSO Ladinda arah 90° kondisi *full load*



Gambar 4.47 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi *full load*



Gambar 4.48 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi *full load*



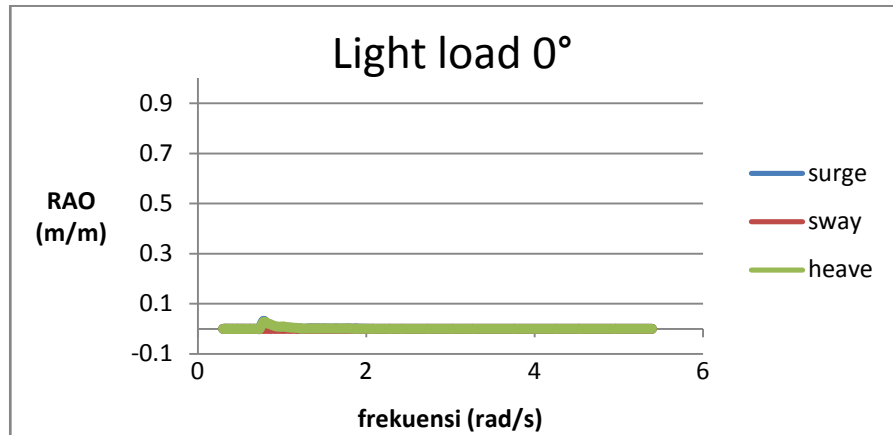
Gambar 4.49 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi *full load*

Tabel 4.10 Resume RAO FSO Ladinda kondisitertambat *full load*

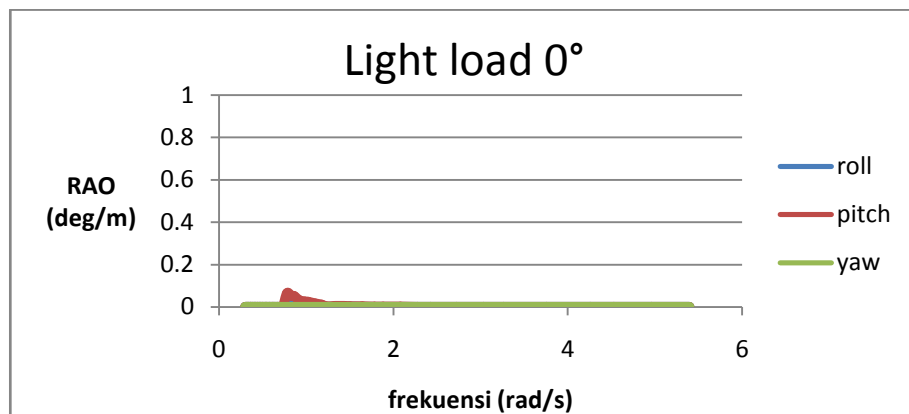
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.051	0.054	0.013	0.061	0.061
<i>Sway</i>	m/m	0.000	0.053	0.058	0.000	0.058
<i>Heave</i>	m/m	0.022	0.047	0.046	0.052	0.052
<i>Roll</i>	deg/m	0.002	0.030	0.093	0.001	0.093
<i>Pitch</i>	deg/m	0.046	0.024	0.027	0.095	0.095
<i>Yaw</i>	deg/m	0.000	0.031	0.007	0.003	0.031

Dilihat dari kurva pada Gambar 4.45 sampai Gambar 4.52 dan Tabel 4.13, RAO tertambat yang dihasilkan pada kondisi *full load* sangat lebih kecil dibandingkan dengan RAO pada kondisi *free floating*. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi *mooring system* dengan ukuran tersebut diatas telah mampu meredam gerakan struktur FSO. Gerakan translasional terbesar yang terjadi adalah *surge* yaitu 0,061 m/m pada *heading* pembebanan 180^0 . Untuk gerakan rotasional terbesar adalah *pitch* yaitu 0,095 deg/m yang juga terjadi pada *heading* pembebanan 180^0 .

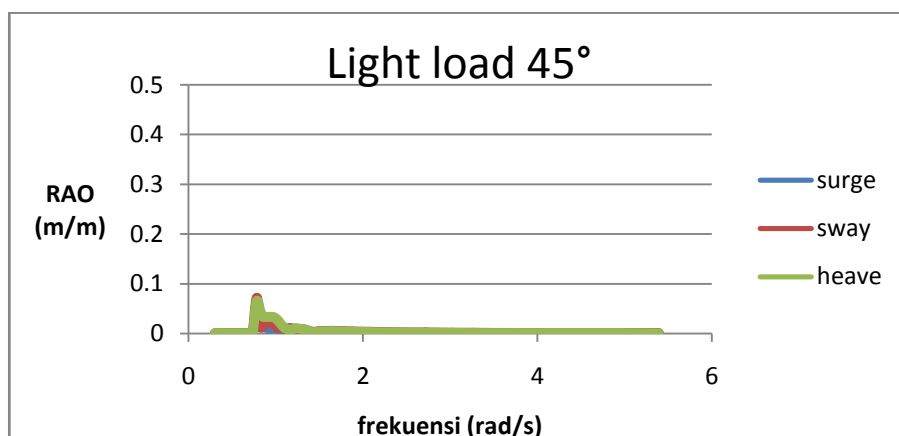
4.3.1.2 Kondisi *Light load*



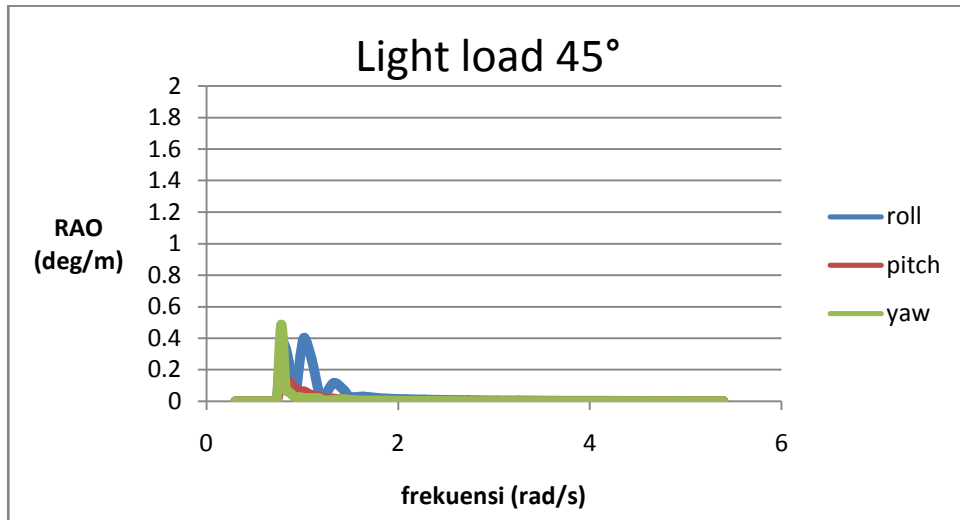
Gambar 4.50 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 0° kondisi *light load*



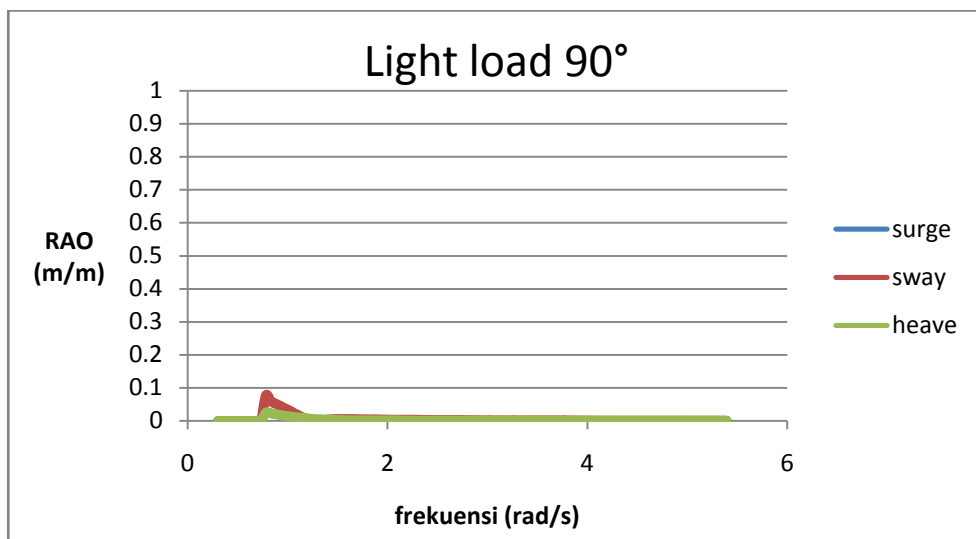
Gambar 4.51 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 0° kondisi *light load*



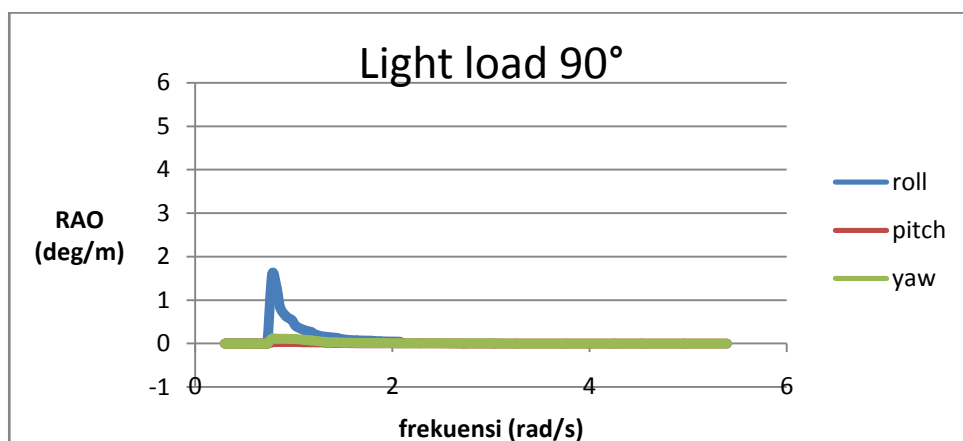
Gambar 4.52 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 45° kondisi *light load*



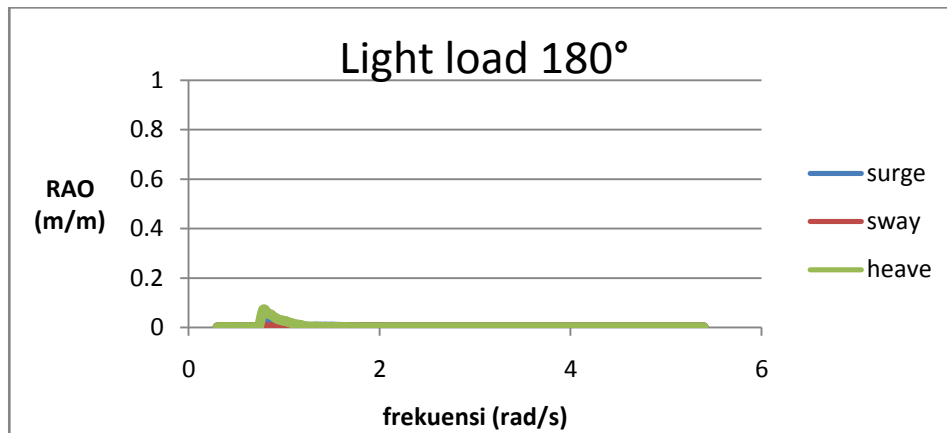
Gambar 4.53 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 45^0 kondisi *light load*



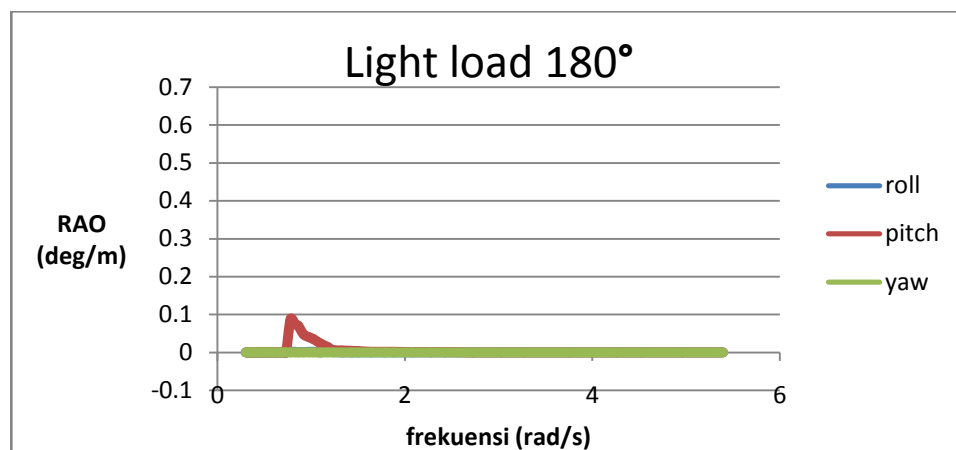
Gambar 4.54 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi *light load*



Gambar 4.55 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 90^0 kondisi *light load*



Gambar 4.56 Kurva RAO tertambat gerakan translasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi *light load*



Gambar 4.57 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi FSO Ladinda arah 180^0 kondisi *light load*

Tabel 4.11 Resume RAO FSO Ladinda kondisi tertambat *light load*

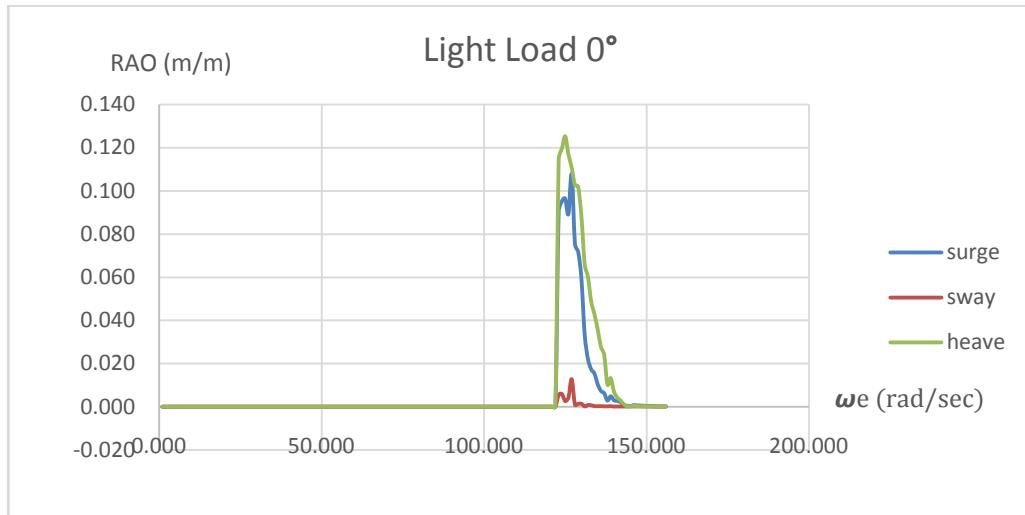
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.032	0.033	0.001	0.040	0.040
<i>Sway</i>	m/m	0.000	0.071	0.077	0.000	0.077

<i>Heave</i>	m/m	0.028	0.065	0.024	0.072	0.072
<i>Roll</i>	deg/m	0.003	0.403	1.592	0.002	1.592
<i>Pitch</i>	deg/m	0.065	0.067	0.036	0.088	0.088
<i>Yaw</i>	deg/m	0.000	0.487	0.114	0.000	0.487

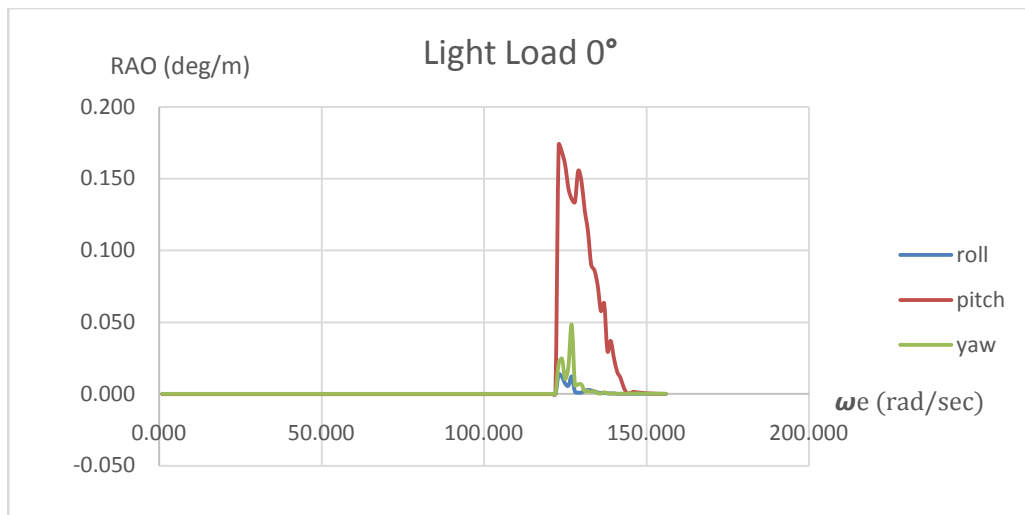
Gerakan FSO tertambat yang terjadi saat kondisi *light load* lebih besar daripada saat tertambat pada kondisi *full load*. Namun jika dibandingkan dengan kondisi *free floating light load*, gerakan FSO saat kondisi *light load* yang tertambat lebih kecil. Karakteristik gerakannya juga masih sama dengan kondisi sebelumnya. Ilustrasi gerakannya terdapat pada kurva Gambar 4.53 sampai Gambar 4.60 dan Tabel 4.14. Untuk arah *heading* 180^0 didominasi gerakan *surge*, *heave*, dan *pitch* dengan besar *surge* 0.040 m/m, *heave* 0.072 m/m, dan *pitch* 0,088 deg/m. Untuk arah 90^0 , gerakan yang paling besar adalah *sway* dan *roll* dengan besar 0,077 m/m untuk *sway*, dan 1.592 deg/m untuk *roll*.

4.3.2 RAO Shuttle Tanker

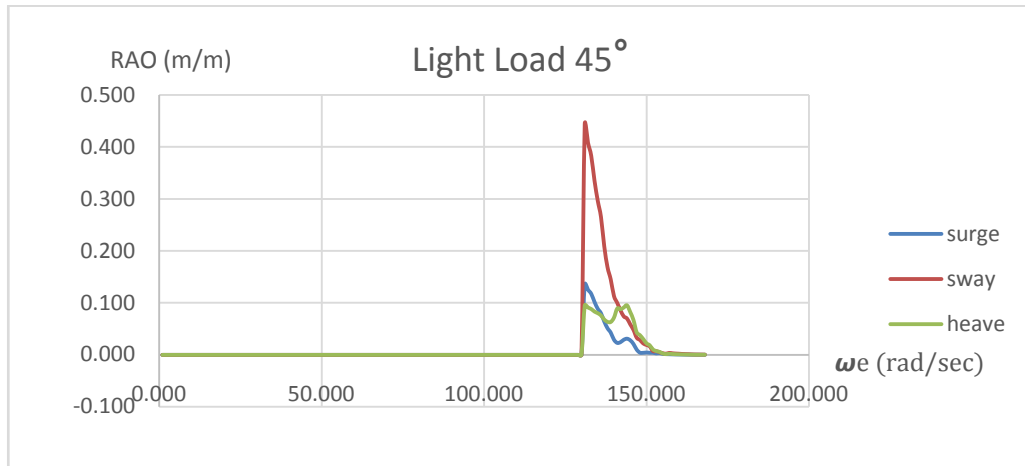
4.3.2.1 Kondisi *Light Load*



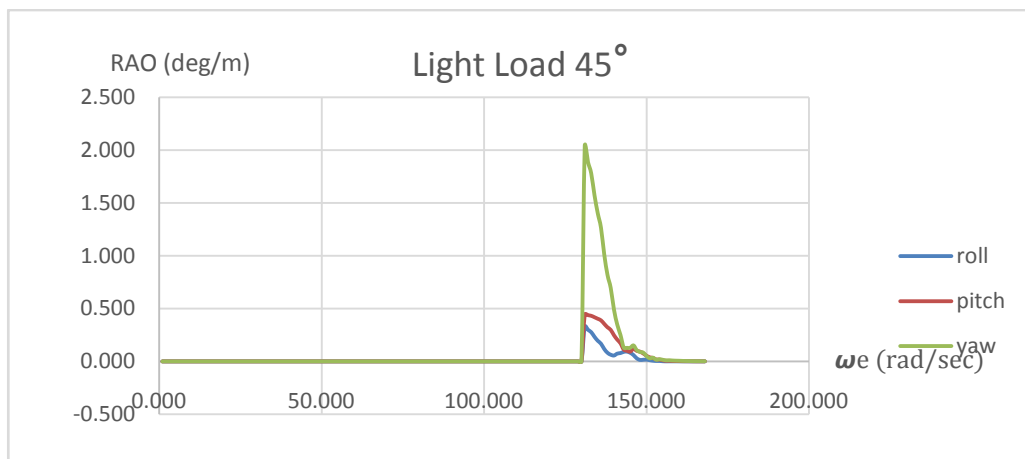
Gambar 4.58 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 0^0 kondisi *light load*



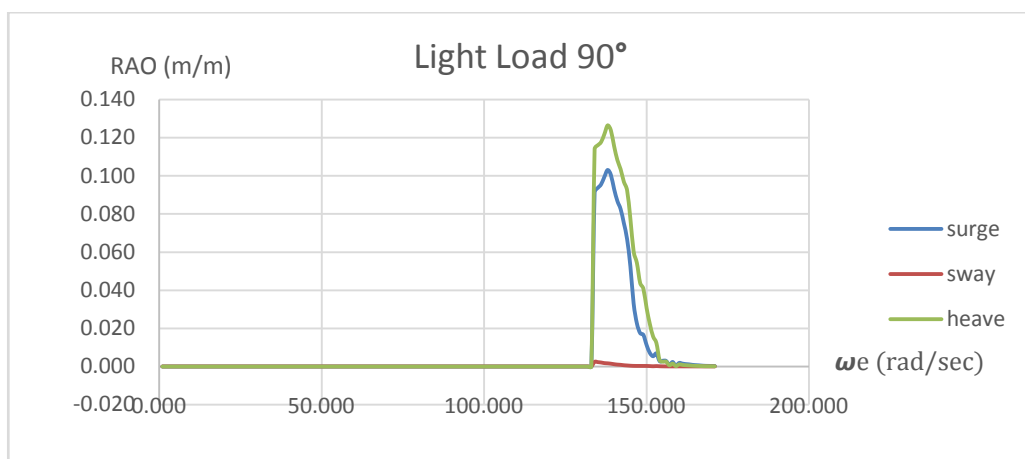
Gambar 4.59 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 0^0 kondisi *light load*



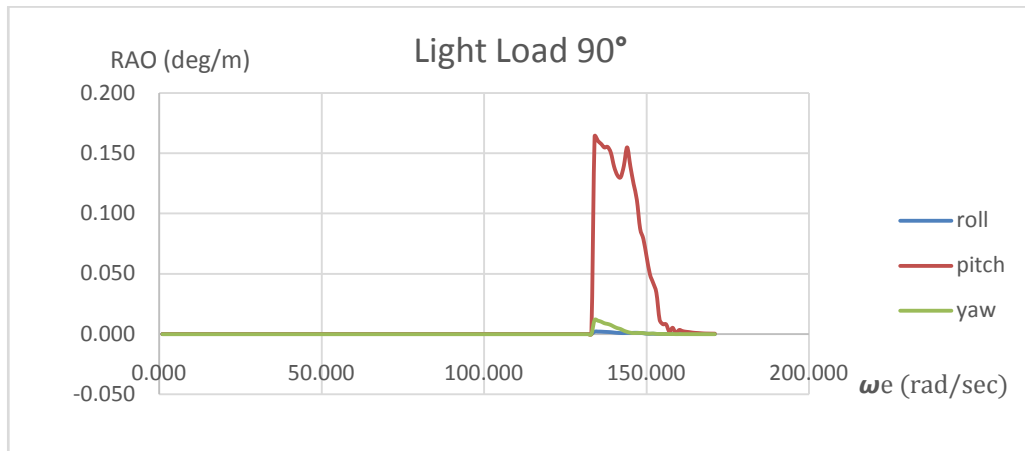
Gambar 4.60 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 45° kondisi *light load*



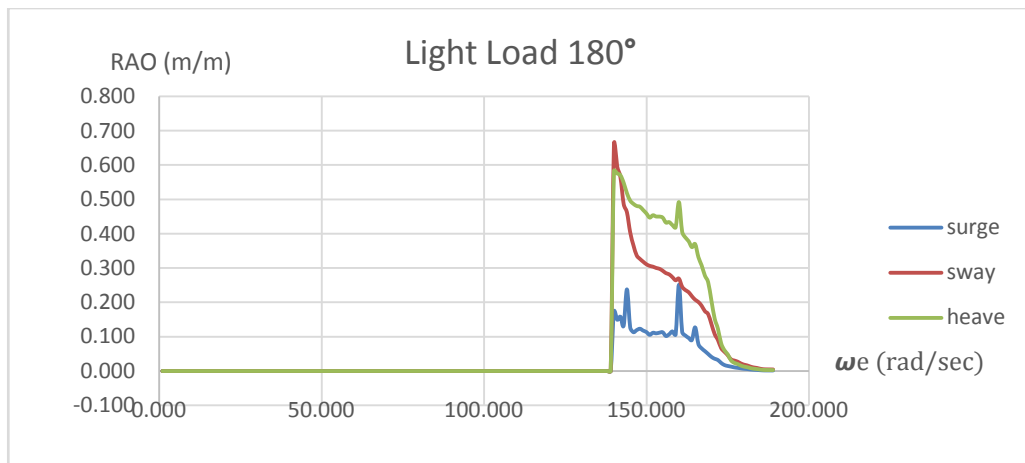
Gambar 4.61 Kurva RAO gerakan rotasi *Shuttle tanker* 45° kondisi *light load*



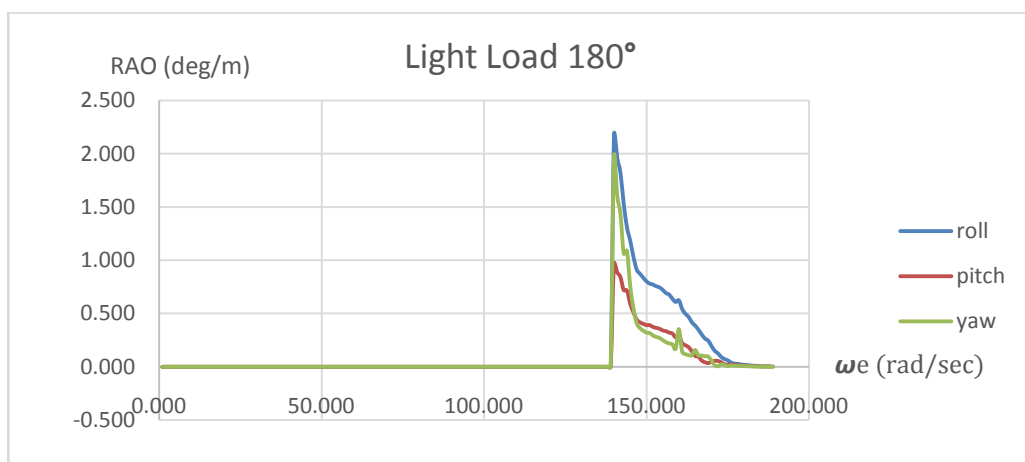
Gambar 4.62 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 90° kondisi *light load*



Gambar 4.63 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 90° kondisi *light load*



Gambar 4.64 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 180° kondisi *light load*



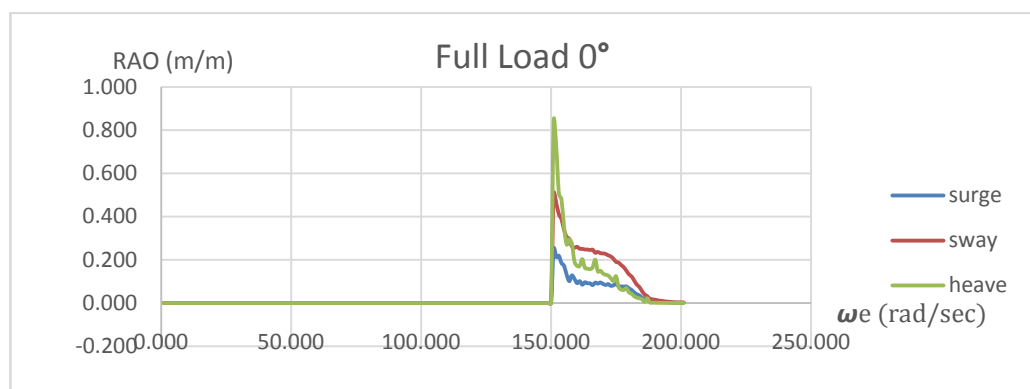
Gambar 4.65 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 180° kondisi *light load*

Tabel 4.12 Resume RAO Shuttle Tanker kondisi tertambat *light load*

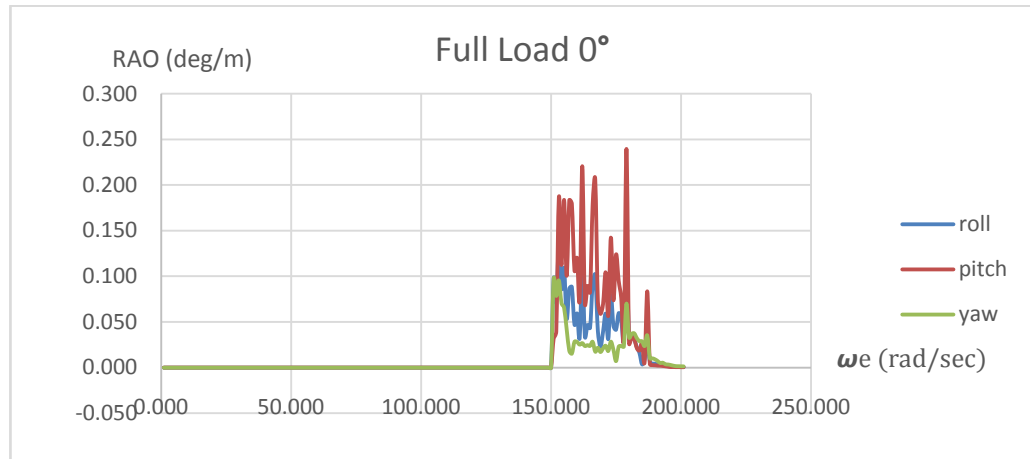
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.108	0.136	0.103	0.252	0.252
<i>Sway</i>	m/m	0.013	0.444	0.002	0.661	0.661
<i>Heave</i>	m/m	0.125	0.095	0.127	0.583	0.583
<i>Roll</i>	deg/m	0.013	0.330	0.002	2.176	2.176
<i>Pitch</i>	deg/m	0.174	0.444	0.164	0.968	0.968
<i>Yaw</i>	deg/m	0.048	2.037	0.012	1.958	1.958

Dilihat dari kurva pada Gambar 4.61 sampai Gambar 4.68 dan Tabel 4.15, RAO tertambat yang dihasilkan pada kondisi *light load* sangat lebih kecil dibandingkan dengan RAO pada kondisi *free floating*. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi *mooring system* diatas telah mampu meredam gerakan struktur *Shuttle Tanker*. Gerakan translasional terbesar yang terjadi adalah *surge* yaitu 0,583 m/m pada *heading* pembebanan 180^0 . Untuk gerakan rotasional terbesar adalah *pitch* yaitu 0,968 deg/m yang juga terjadi pada *heading* pembebanan 180^0 .

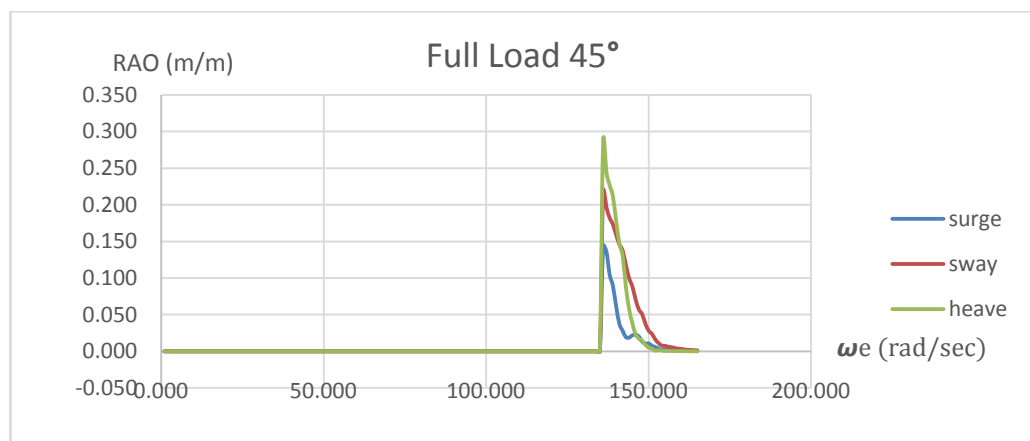
4.3.2.2 Kondisi Full Load



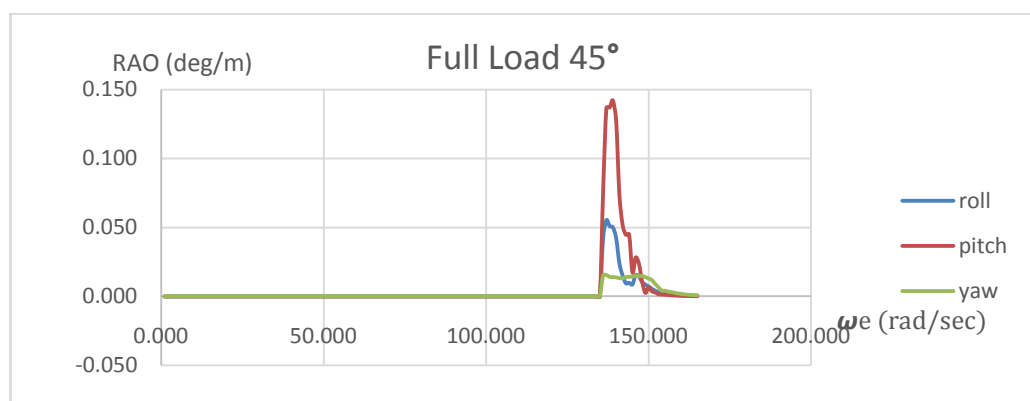
Gambar 4.66 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 0^0 kondisi *full load*



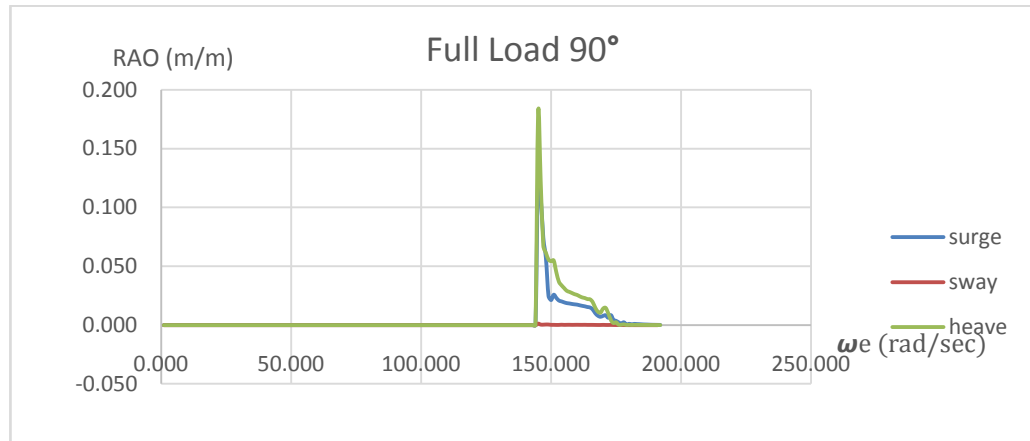
Gambar 4.67 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 0° kondisi *full load*



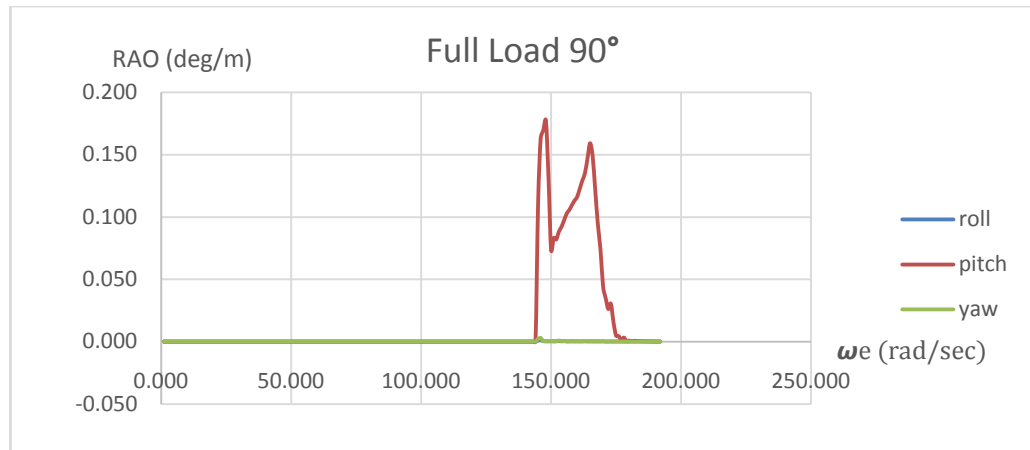
Gambar 4.68 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 45° kondisi *full load*



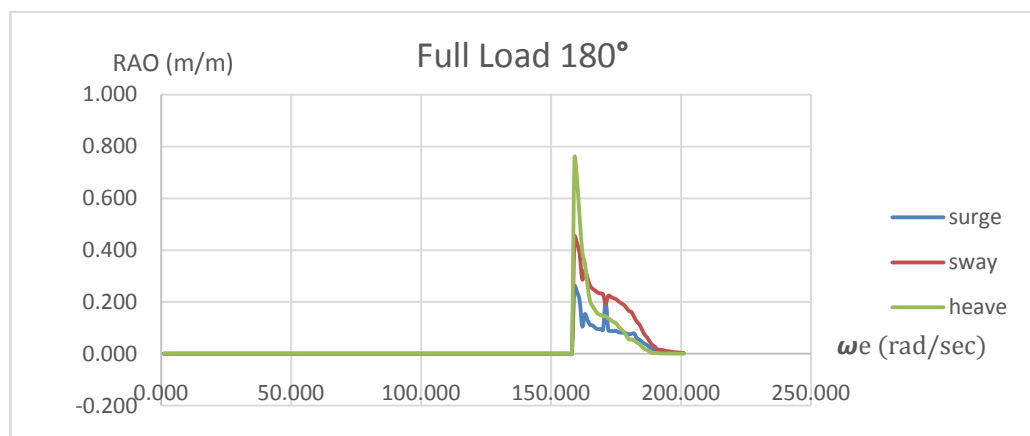
Gambar 4.69 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 45° kondisi *full load*



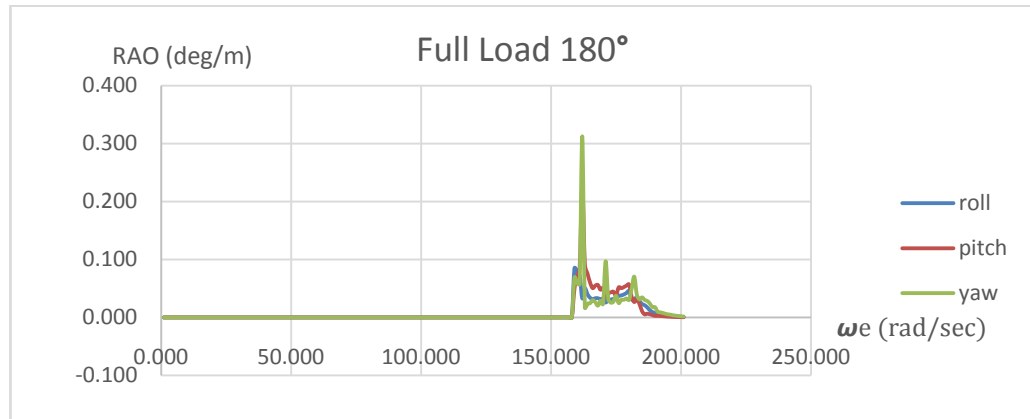
Gambar 4.70 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 90° kondisi full load



Gambar 4.71 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 90° kondisi full load



Gambar 4.72 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 180° kondisi full load



Gambar 4.73 Kurva RAO tertambat gerakan rotasi *Shuttle tanker* 180° kondisi *full load*

Tabel 4.13 Resume RAO Shuttle Tanker kondisi tertambat *full load*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.251	0.144	0.126	0.260	0.260
<i>Sway</i>	m/m	0.509	0.219	0.001	0.453	0.509
<i>Heave</i>	m/m	0.841	0.288	0.180	0.753	0.841
<i>Roll</i>	deg/m	0.135	0.055	0.001	0.085	0.135
<i>Pitch</i>	deg/m	0.239	0.142	0.177	0.226	0.239
<i>Yaw</i>	deg/m	0.097	0.015	0.003	0.313	0.313

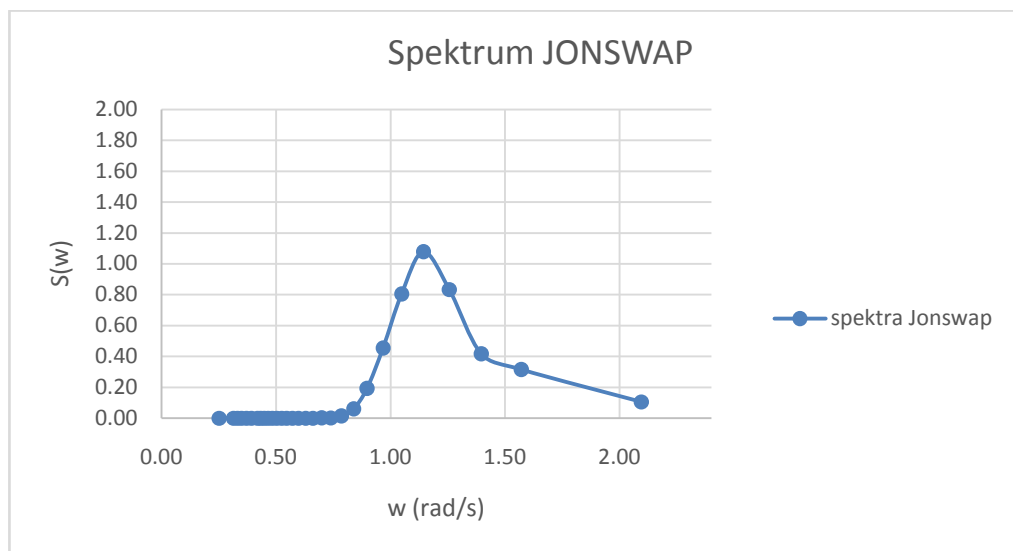
Gerakan *Shuttle Tanker* tertambat yang terjadi saat kondisi *full load* lebih kecil daripada saat tertambat pada kondisi *light load*. Namun jika dibandingkan dengan kondisi *free floating light load*, gerakan *Shuttle Tanker* saat kondisi *light load* yang tertambat lebih kecil. Karakteristik gerakannya juga masih sama dengan kondisi sebelumnya. Ilustrasi gerakannya terdapat pada kurva Gambar 4.69 sampai Gambar 4.75 dan Tabel 4.16. Untuk arah *heading* 180° didominasi gerakan *surge* dengan besar *surge* 0.260 m/m. Untuk arah 0°, gerakan yang paling besar adalah *sway* dan *roll* dengan besar 0,509 m/m untuk *sway*, dan 0.509 deg/m untuk *roll*.

4.4 Analisis Gerakan Struktur pada Gelombang Acak

Analisis gerakan struktur pada gelombang acak dihitung berdasarkan spektrum gelombang yang sesuai dengan kondisi lingkungan dimana struktur tersebut beroperasi. FSO Ladinda beroperasi di daerah Selat Lalang, Malaka Strait. Perairan tersebut termasuk dalam daerah perairan tertutup, sehingga spektrum JONSWAP dapat digunakan. Pemilihan spektrum JONSWAP ini berdasarkan Chakrabarti (1987) yang menyatakan bahwa perairan tertutup dapat menggunakan spectra JONSWAP. Dari Chakrabarti juga didapatkan perhitungan untuk menentukan nilai γ yang sesuai dengan kondisi lingkungan. Data T_p untuk perairan Selat Lalang ini adalah 5s, dan H_s 3 m, sehingga $\gamma = 3.627$ dan mengikuti persamaan :

$$\gamma = \exp\left(5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}\right) \text{ for } T_p/\sqrt{H_s} > 3.6 \dots\dots\dots(4.1)$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai γ sebesar 2.3 (Chakrabarti 1987). Berikut adalah kurva spectrum JONSWAP untuk perairan Selat Lalang (Gambar 4.37).

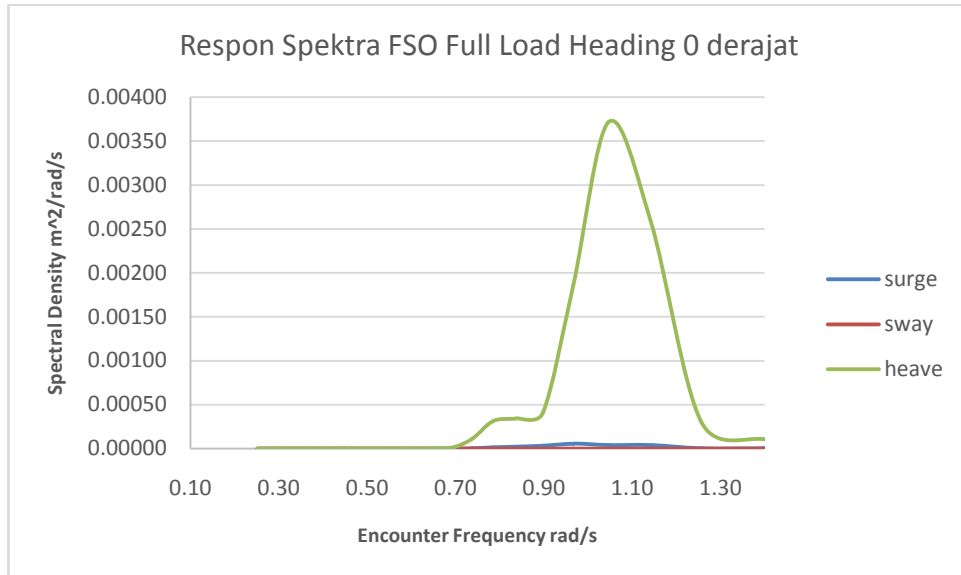


Gambar 4.74Spektrum gelombang JONSWAP ($H_s = 2\text{m}$, $T_p = 5\text{s}$)

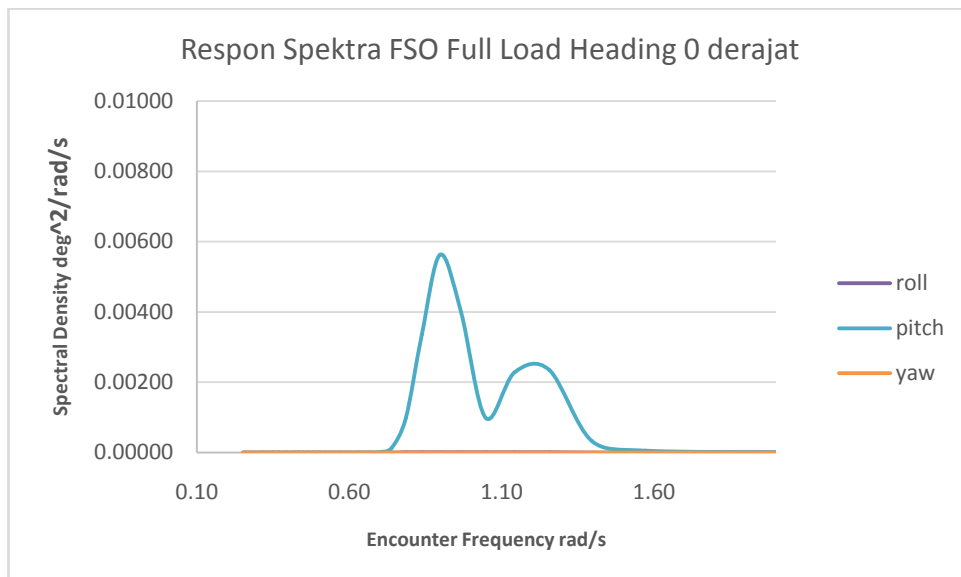
Tahap selanjutnya adalah menghitung respon struktur dari FSO Ladinda yang merupakan kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektra respon

didapat dari perkalian spectra gelombang dengan RAO kuadrat. RAO yang digunakan adalah RAO saat *free floating* yang ditinjau pada kondisi fullload dan *light load* yang telah dihitung sebelumnya. Berikut adalah kurva hasil perhitungan spectra respon pada kondisi *full load* dan *light load*:

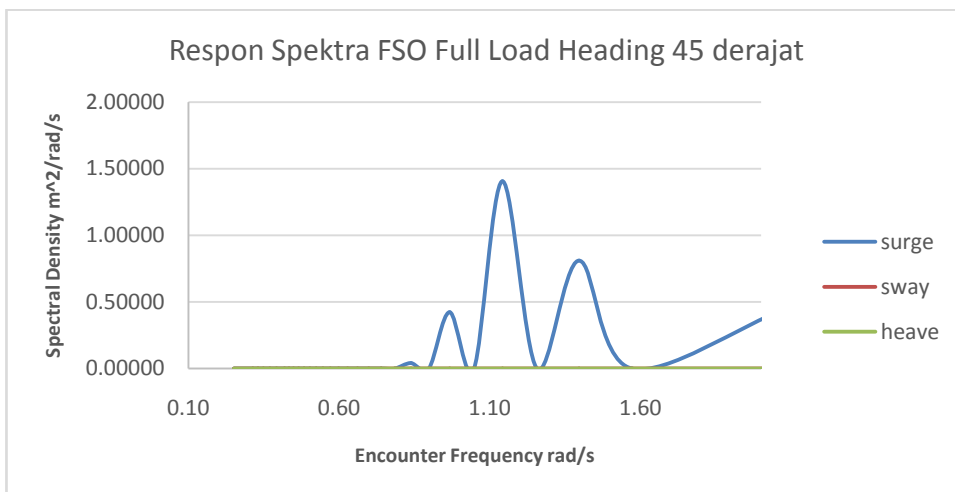
4.4.1 Spektra respon kondisi *Full Load*



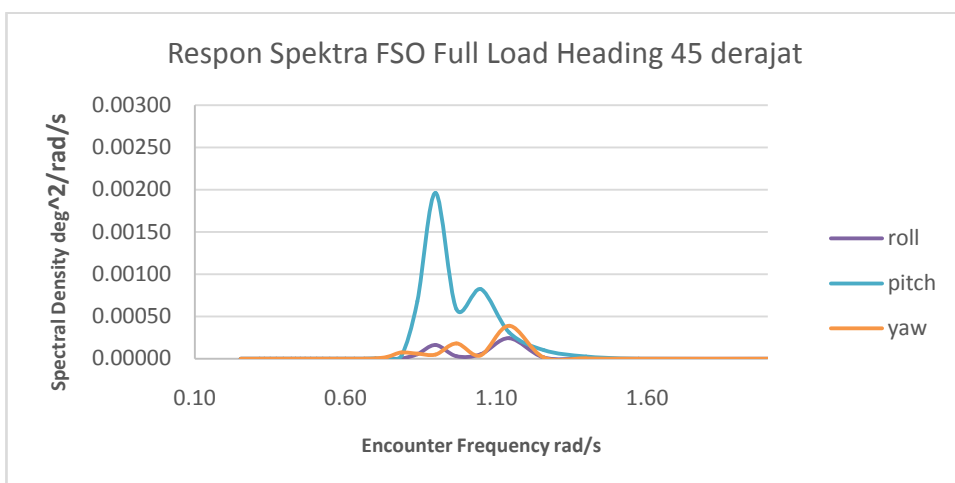
Gambar 4.75 Respon spektra gerakan translasi arah 0^0 kondisi *full load*



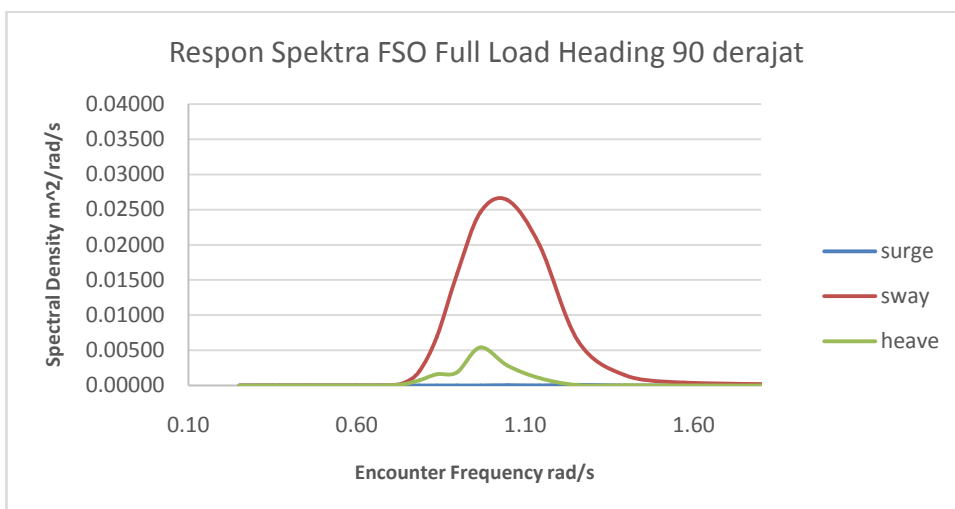
Gambar 4.76 Respon spektra gerakan rotasi arah 0^0 kondisi *full load*



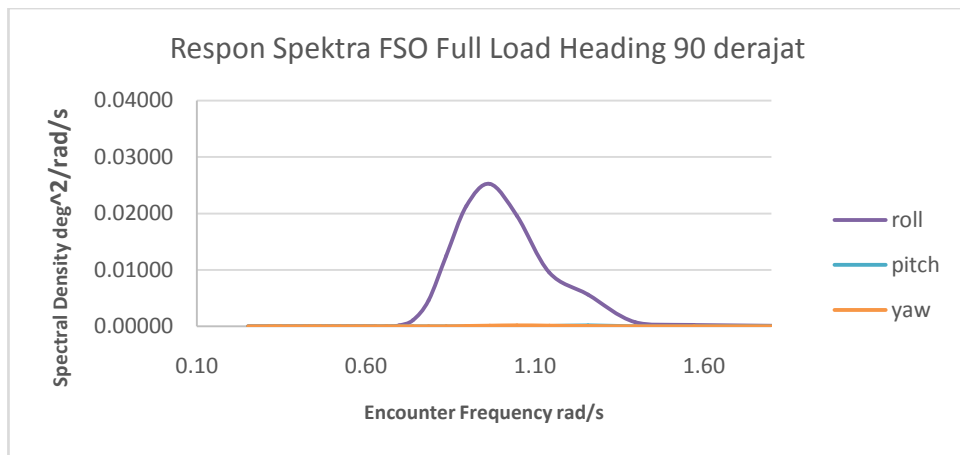
Gambar 4.77 Respon spektra gerakan translasi arah 45⁰ kondisi *full load*



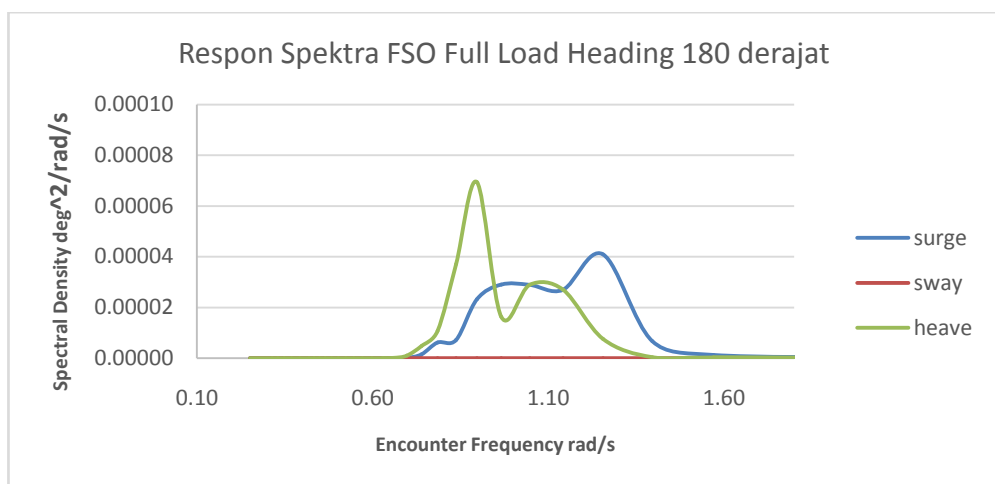
Gambar 4.78 Respon spektra gerakan rotasi arah 45⁰ kondisi *full load*



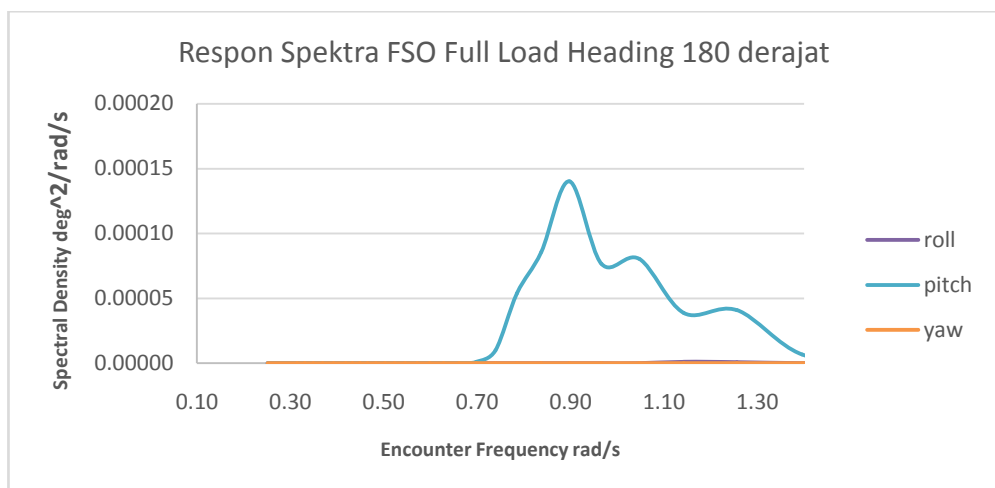
Gambar 4.79 Respon spektra gerakan translasi arah 90^0 kondisi *full load*



Gambar 4.80 Respon spektra gerakan rotasi arah 90^0 kondisi *full load*

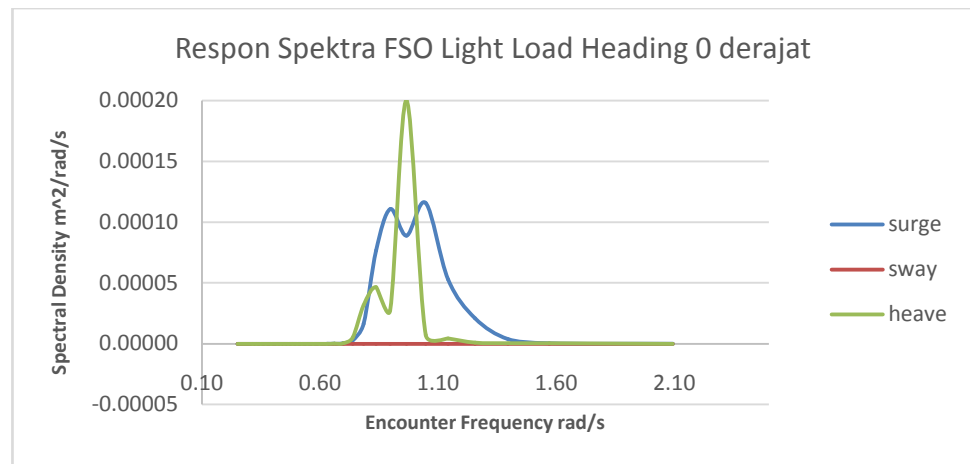


Gambar 4.81 Respon spektra gerakan translasi arah 180^0 kondisi *full load*

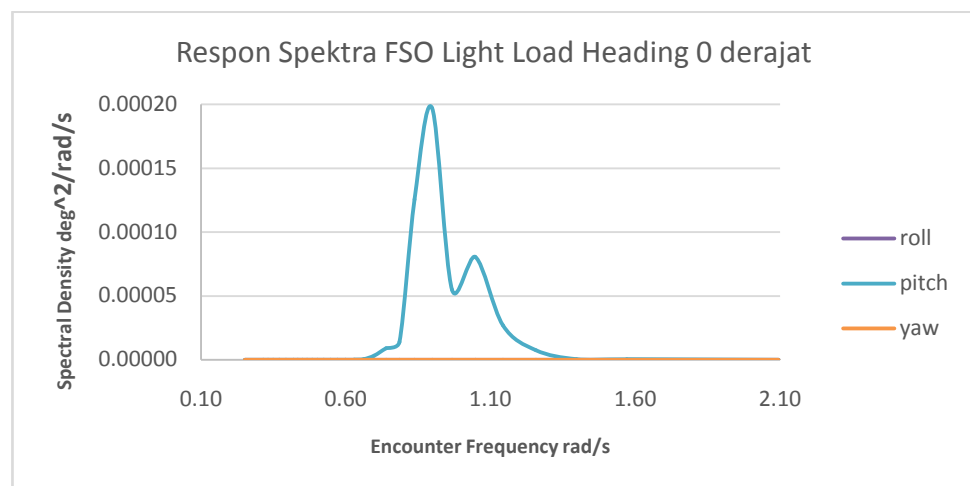


Gambar 4.82 Respon spektra gerakan rotasi arah 180° kondisi *full load*

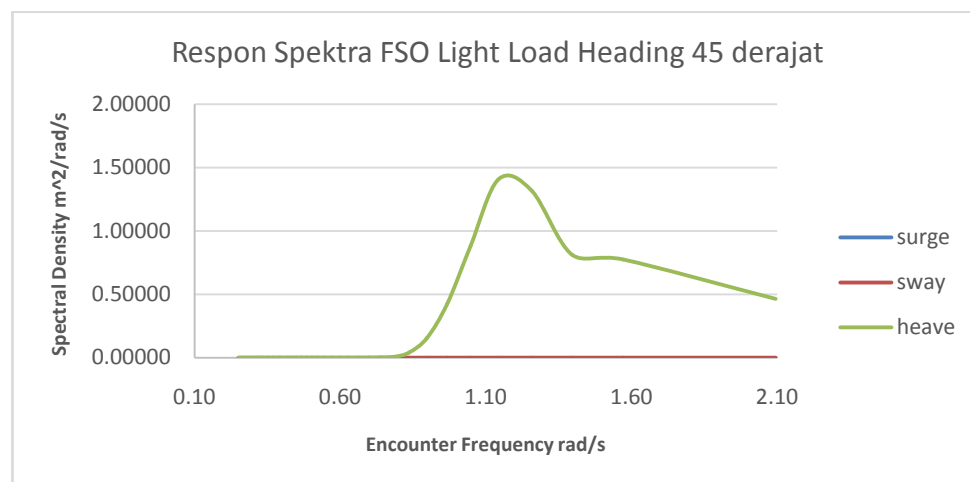
4.4.2 Spektra respon kondisi *Light Load*



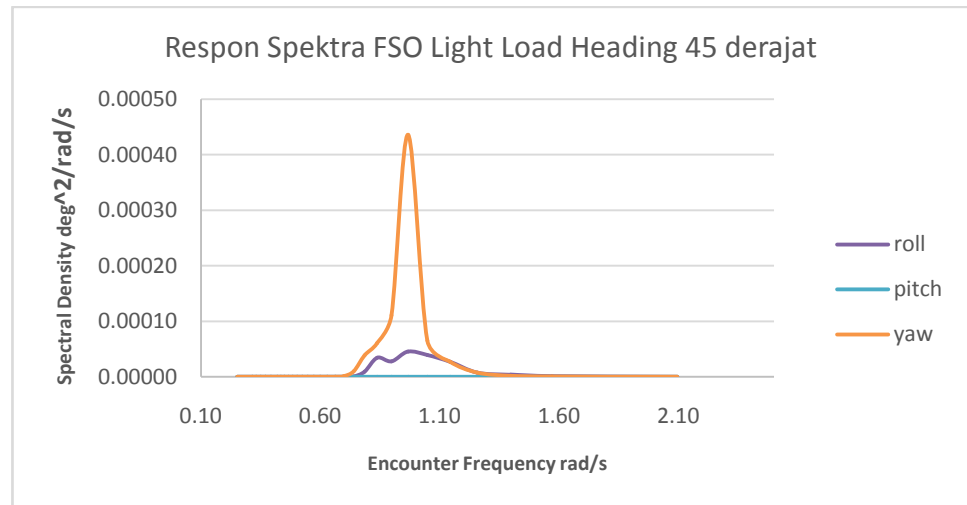
Gambar 4.83 Respon spektra gerakan translasi arah 0° kondisi *light load*



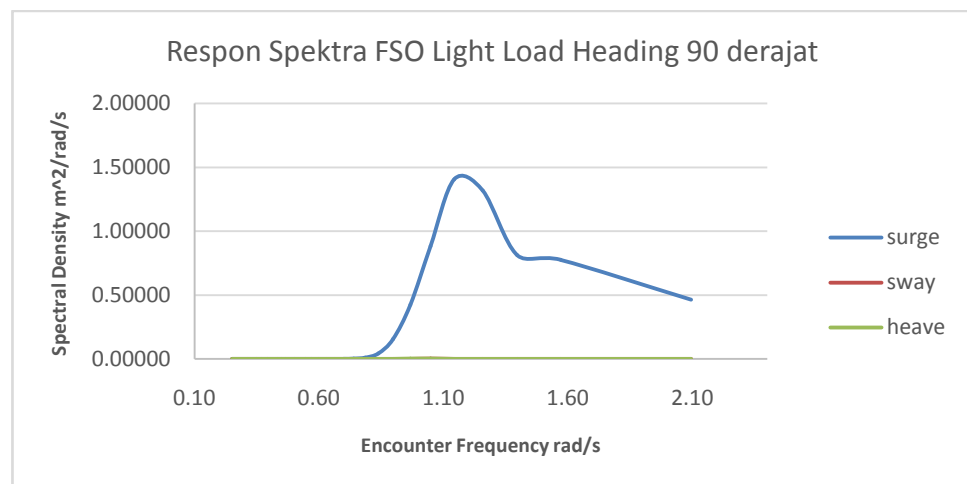
Gambar 4.84 Respon spektra gerakan rotasi arah 0° kondisi *light load*



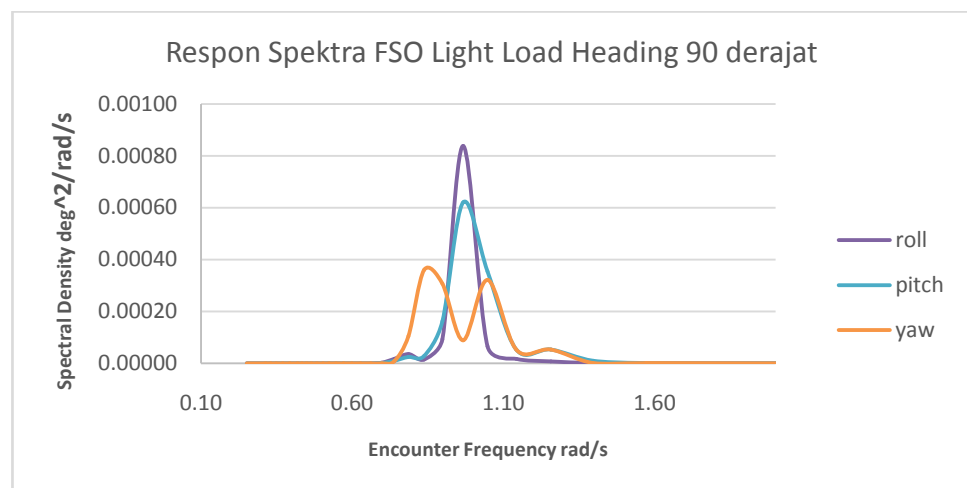
Gambar 4.85 Respon spektra gerakan translasi arah 45⁰ kondisi *light load*



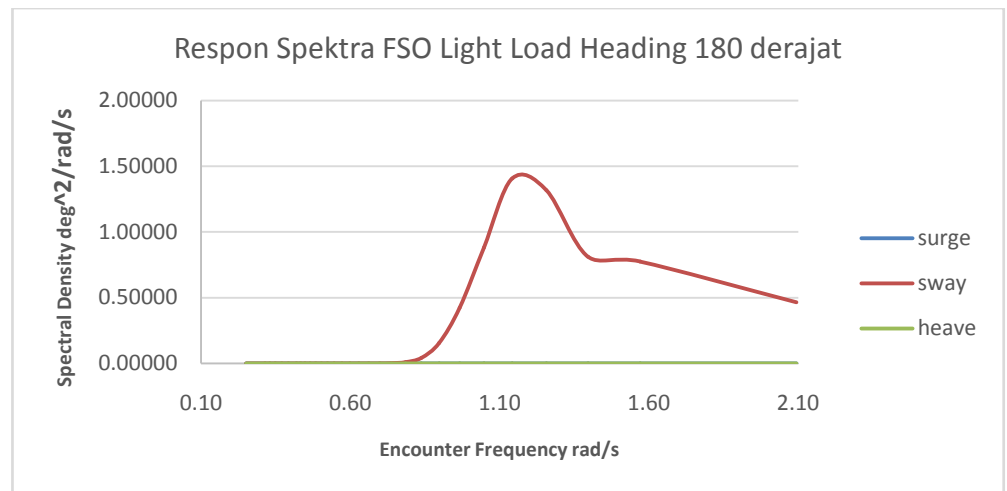
Gambar 4.86 Respon spektra gerakan rotasi arah 45⁰ kondisi *light load*



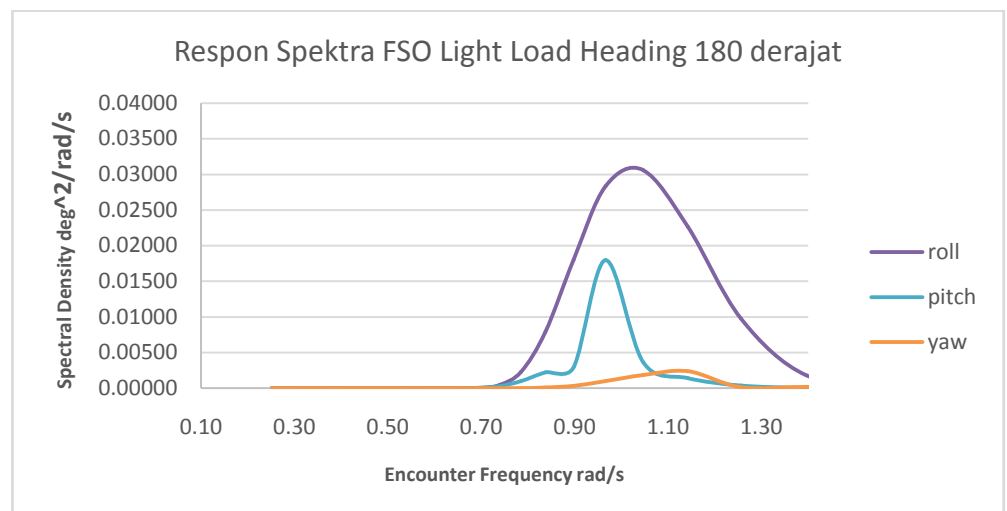
Gambar 4.87 Respon spektra gerakan translasi arah 90⁰ kondisi *light load*



Gambar 4.88 Respon spektra gerakan rotasi arah 90^0 kondisi *light load*



Gambar 4.89 Respon spektra gerakan translasi arah 180^0 kondisi *light load*



Gambar 4.90 Respon spektra gerakan rotasi arah 180^0 kondisi *light load*

Tabel 4.14 Resume Respon Struktur kondisi *full load*

Moda Gerakan	Unit	Respon Struktur Maksimum Kondisi <i>Full load</i>				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	$\text{m}^2/(\text{rad/s})$	0.00005	1.40624	0.00008	0.00004	1.40624
<i>Sway</i>	$\text{m}^2/(\text{rad/s})$	0.00000	0.00018	0.02634	0.00000	0.02634
<i>Heave</i>	$\text{m}^2/(\text{rad/s})$	0.00372	0.00024	0.00539	0.00007	0.00539
<i>Roll</i>	$\text{deg}^2/(\text{rad/s})$	0.00001	0.00024	0.02526	0.00000	0.02526
<i>Pitch</i>	$\text{deg}^2/(\text{rad/s})$	0.00562	0.00196	0.00016	0.00014	0.00562
<i>Yaw</i>	$\text{deg}^2/(\text{rad/s})$	0.000	0.00039	0.00018	0.00000	0.00039

Tabel 4.15 Resume Respon Struktur kondisi *Light Load*

Moda Gerakan	Unit	Respon Struktur Maksimum Kondisi <i>Light load</i>				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	$\text{m}^2/(\text{rad/s})$	0.00012	0.00000	1.40624	0.00000	1.40624
<i>Sway</i>	$\text{m}^2/(\text{rad/s})$	0.00000	0.00000	0.00035	1.40524	1.40524
<i>Heave</i>	$\text{m}^2/(\text{rad/s})$	0.00020	1.50624	0.00033	0.00005	1.50624
<i>Roll</i>	$\text{deg}^2/(\text{rad/s})$	0.00000	0.00005	0.00084	0.03057	0.03057
<i>Pitch</i>	$\text{deg}^2/(\text{rad/s})$	0.00020	0.00000	0.00062	0.01796	0.01796
<i>Yaw</i>	$\text{deg}^2/(\text{rad/s})$	0.00000	0.00044	0.00036	0.00238	0.00238

4.5 Analisis Tegangan Tali Tambat (*Hawser*)

Tujuan pokok dalam analisis *mooring* pada skema *tandem offloading process*, yaitu: untuk menentukan gaya tarik tali tambat dan gerakan relatif dari titik tertentu pada bangunan apung yang ditinjau. Kemudian dari beberapa analisis tersebut, didapatkan hasil yang nantinya akan digunakan sebagai *input* desain pada sistem transfer FSO (*hoses* atau *loading arm*), *bollard* atau *fairlead*, dimensi *fender* dan posisi penempatannya (DNV, 2011).

Analisis tegangan tali tambat (*hawser*) saat kondisi *tandem offloading process* pada konstruksi bolder di FSO *Ladinda* dilakukan untuk mendapatkan tegangan terbesar *hawser* sebagai input pemodelan selanjutnya. Analisis ini mengacu pada standar *American Bureau of Shipping (ABS)*, dimana *safety factor* dari tegangan tali tambat (*hawser*) yang didapatkan dengan membagi *Minimum Breaking Load* dengan *tension* yang didapatkan dari hasil simulasi.

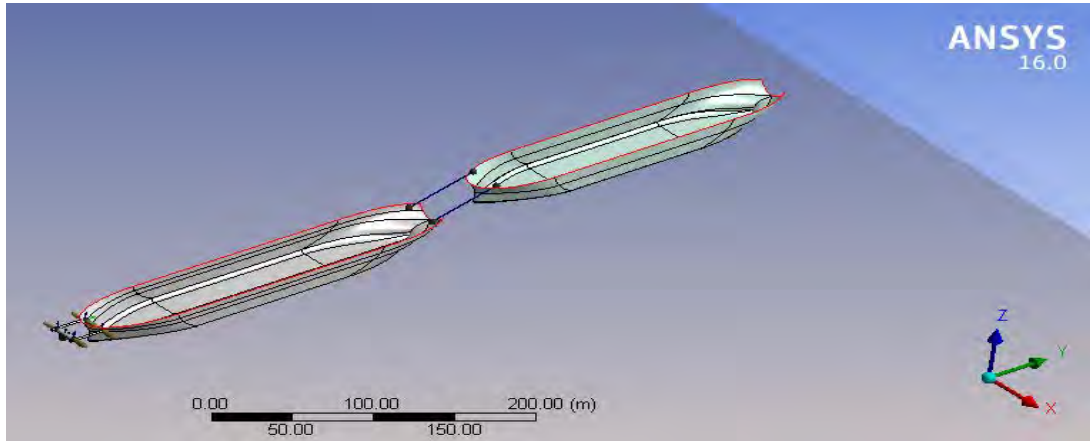
Analisis tegangan tali tambat (*hawser*) dan gerakan relatif dilakukan menggunakan bantuan *software* ANSYS dengan simulasi *time domain* selama 10800 detik. Skenario analisis ini dilakukan dalam empat kondisi yaitu :

1. FSO *Ladinda Full Condition* – Tanker MS Pacific Leo *Light Condition*
2. FSO *Ladinda Light Condition* – Tanker MS Pacific Leo *Full Condition*

Kondisi ini dibuat karena kapasitas FSO *Ladinda* yang sebesar 1000 *barrel* sedangkan nantinya Tanker MS Pacific Leo yang akan melaksanakan *offloading* bermuatan 500 *barrel*. Untuk arah pembebanan gelombang terhadap *heading* kapal dilakukan dalam empat arah, yaitu 0^0 , 45^0 , 90^0 , dan 180^0 .

Skenario beban lingkungan dalam analisis ini dilakukan dalam kondisi 100 tahunan. Kondisi ini dibuat karena *mooring* dengan skema *tandem* pada dua buah bangunan apung menunjukkan ketidaklayakan jika kondisi lingkungan yang terjadi sangat ganas (Van der Valk, 2005). Meskipun demikian, kondisi perairan

yang cukup tenang memungkinkan skema *tandem* untuk dilakukan karena sesuai dengan peralatan dan beberapa prosedur yang disetujui. Sehingga perlu dilakukan simulasi dalam kondisi lingkungan ekstrim untuk memperhitungkan umur kelelahan dari *mooring system* yang digunakan saat *tandem offloading process*.



Gambar 4.91 Tampak pemodelan Tandem Offloading Process FSO Ladinda dan MS Pacific Leo

Setelah dilakukan simulasi dengan *software* ANSYS selama 10800 detik didapatkan *tension hawser* terbesar pada setiap sudut pembebanan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.18 dan 4.19.

Kondisi :FSO Full load – Shuttle Tanker Light Load

Tabel 4.16 Hasil simulasi *Tension force* pada kondisi 1

Tali Tambat	Arah Pembebanan			
	0 deg (kN)	45 deg (kN)	90 deg (kN)	180 deg (kN)
Hawser 1	832.902	749.036	719.444	819.400
Hawser 2	709.408	827.676	739.036	834.072

Kondisi :FSO Light load – Shuttle Tanker Full Load

Tabel 4.17 Hasil simulasi *Tension force* pada kondisi 2

Tali Tambat	Arah Pembebanan			
	0 deg (kN)	45 deg (kN)	90 deg (kN)	180 deg (kN)
Hawser 1	859.612	864.656	860.656	780.952

Hawser 2	837.192	862.144	769.246	739.812

Tabel 4.18 Nilai *Tension force* maksimal pada *hawser*

<i>Line</i>	<i>Tension (kN)</i>	<i>Heading (deg)</i>	<i>Kondisi</i>	<i>Minimum Breaking Load (kN)</i>	<i>Safety Factor</i>
<i>Hawser 1</i>	832.902	0	FSO FL-ST LL	1750	Memenuhi
<i>Hawser 2</i>	834.072	180	FSO FL-ST LL	1750	Memenuhi
<i>Hawser 1</i>	864.656	45	FSO LL-ST FL	1750	Memenuhi
<i>Hawser 2</i>	862.144	45	FSO LL-ST FL	1750	Memenuhi

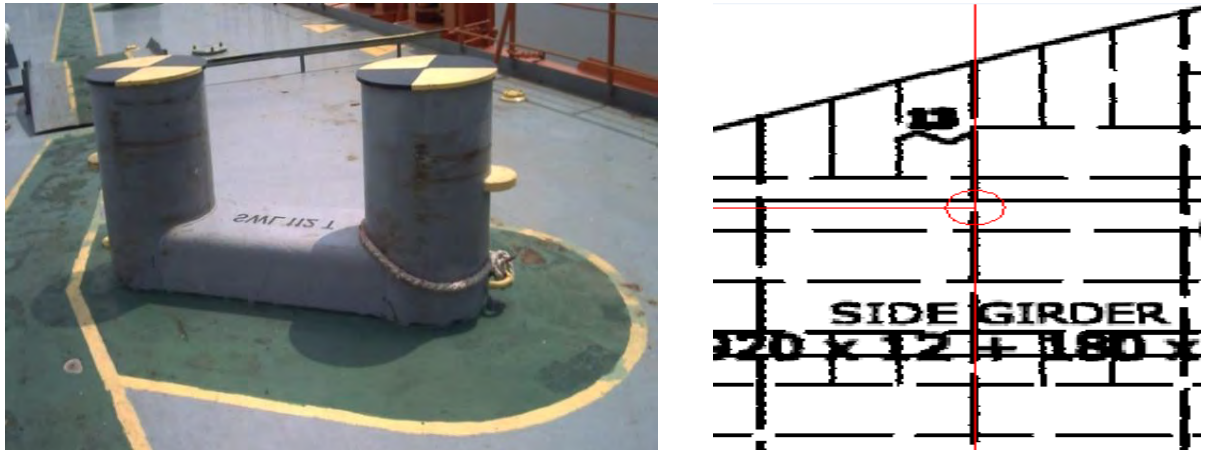
Berdasarkan Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 di atas dapat diketahui bahwa *hawser* pada taut 1 pada kondisi 2 yang menghubungkan antara FSO Ladinda dan Tanker MS Pacific Leo memiliki nilai *tension* paling besar yaitu 864.656 kN. Hasil *tension hawser* terbesar tersebut merupakan pengaruh dari sudut yang dibentuk oleh konfigurasi *hawser* dan juga pengaruh dari gerakan *surge*, *heave*, beban muatan struktur akibat *heading* pada sudut 45°. Hal ini menunjukkan bahwa *hawser* dalam kondisi aman untuk beroperasi dalam kondisi beban lingkungan 100 tahunan untuk proses *tandem offloading process*. Nilai *tension hawser* terbesar ini nantinya akan digunakan untuk pembebanan pada pemodelan lokal konstruksi *bolder*.

4.6 Pemodelan konstruksi *Bollard*

Pemodelan detail konstruksi *bollard* dilakukan dengan bantuan *software* AutoCAD 3D. Pemodelan konstruksi *bollard* meliputi pemodelan konstruksi *bollard* itu sendiri dan konstruksi *deck* beserta *stiffener-stiffener* yang ada di sekitar konstruksi *bollard* ditempatkan. Pemodelan *bollard* dilakukan dengan memodelkan dimensi-dimensi ketebalannya sesuai dengan kondisi 80% dari desain awal sebagai toleransi korosi karena FSO Ladinda telah lama beroperasi (BKI Vol.II, 2009).

Pemodelan lokal konstruksi *bollard* ditempatkan pada *main deck* bagian belakang dengan ketebalan *bollard* 15 mm. Tebal pelat di *main deck* 13 mm.

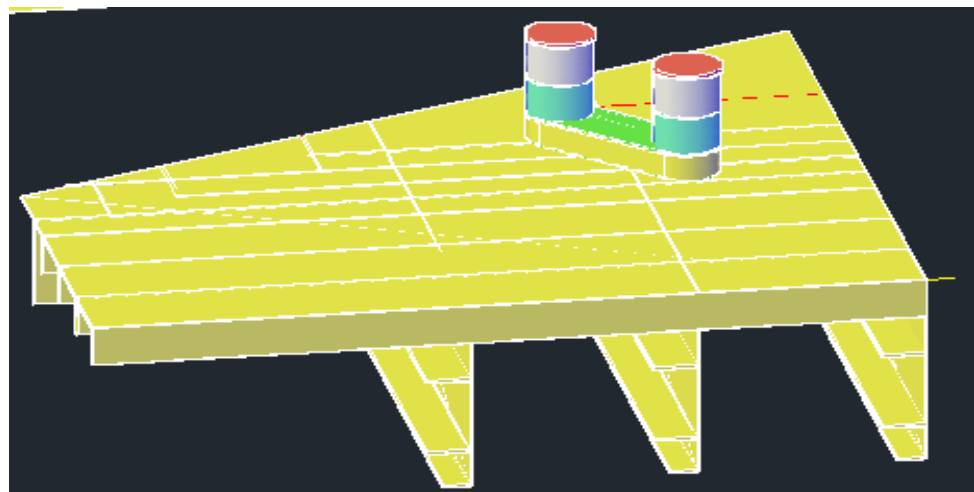
Struktur yang dimodelkan meliputi konstruksi *bollard* beserta dudukannya, *deck*, konstruksi melintang (*deck beam transverse*) dan konstruksi memanjang (*longitudinal girder*) di *main deck*. Luasan struktur yang dimodelkan untuk distribusi tegangan pada analisa lokal ini mengacu pada ketentuan ABS “*Safeshull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*”(2001) sekaligus dilakukan pemilihan material untuk struktur, yaitu Baja ASTM A36.



(a)

(b)

Gambar 4.92 Konstruksi *bollard* (a) foto kondisi fisik *bollard* (b) letak *bollard* pada konstruksi *deck* belakang



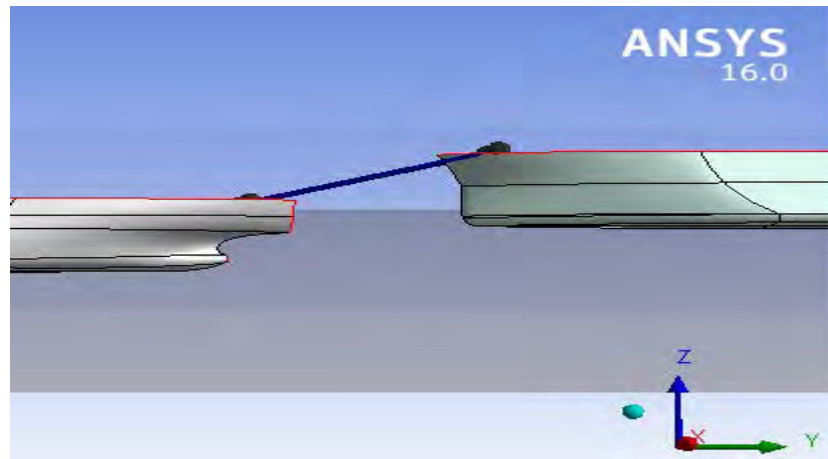
Gambar 4.93 Hasil pemodelan 3D *bollard* belakang

Konstruksi *Bollard* terletak pada *main deck* bagian belakang (Gambar 4.77, 4.78) dengan ketebalan 15 mm, pelat di *main deck* 13 mm, *girder* HP 220 x 12

(EMP, 2014). Pemodelan lokal dilakukan dengan kondisi batas 3 *frame* di sekitar *bollard* hingga struktur penegar yang terkuat untuk pendistribusian gayanya (ABS, 2001).

4.7 Pembebanan pada analisis lokal

Pada analisis lokal pada *bollard* menggunakan bantuan *software* ANSYS *Mechanical* dengan menggunakan satu beban, yaitu beban gaya tarik maksimum *hawser*. Dari hasil analisis *tension* rantai jangkar diatas didapatkan nilai terbesar yang mengenai *bollard* bagian belakang. Konfigurasi beban tersebut dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 4.96.



Gambar 4.94Konfigurasi *Hawser* saat *tandem offloading process* pada *software* ANSYS

Pada analisa ini beban yang mengenai konstruksi bolder adalah beban horizontal memanjang arah sumbu-X , beban vertikal memanjang arah sumbu Y dan beban vertikal arah sumbu – Z. Dan untuk boundary condition dalam analisis ini yaitu bagian tepi struktur yang dimodelkan dianggap *fix*.

4.8 Meshing dan Sensitivity Anlysis

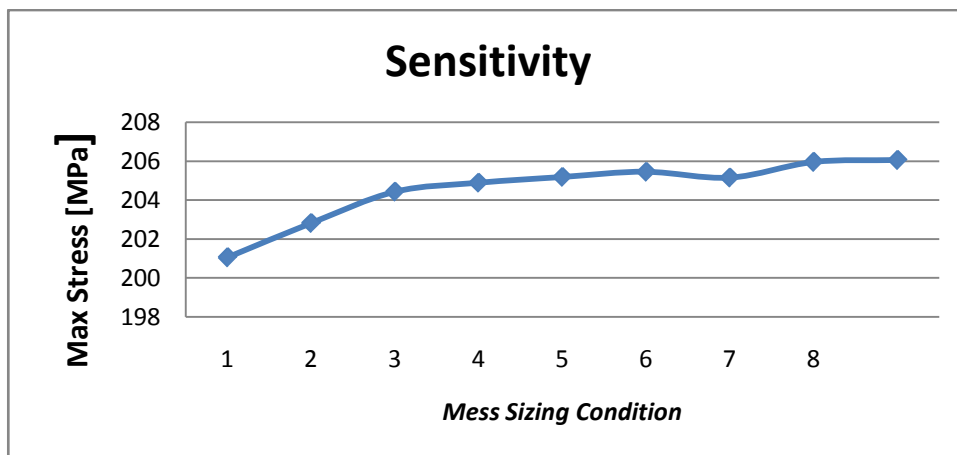
Sensitivity Analysis dilakukan untuk mengecek apakah model dan tegangan yang dihasilkan dari hasil *running* sudah benar atau sudah mendekati nilai kebenaran. Pada Tugas Akhir ini, uji *sensitivity* dilakukan dengan cara variasi ukuran elemen *meshing*(Tabel 4.21). Berdasarkan variasi ukuran elelmen *meshing* tersebut akan didapatkan hasil *equivalent stress* atau yang lebih dikenal dengan *Von Mises*

Stress. Dari beberapa hasil tegangan yang dihasilkan dianalisis hingga didapat perbedaan hasil yang kurang dari 5%.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan *running* uji elemen *meshing* 5 kondisi untuk struktur *bollard* bagian belakang. Menurut ABS “*Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*”(2001) rentang kerapatan ukuran *meshing* yang digunakan untuk *local analysis* adalah 1/5 sampai 1/10 dari ukuran lebar *longitudinal girder*, sehingga didapatkan rentang ukuran untuk struktur *bollard* depan dan belakang yaitu 40 mm – 20 mm.

Tabel 4.19 *MeshingSensitivity* untuk struktur *bollard* belakang

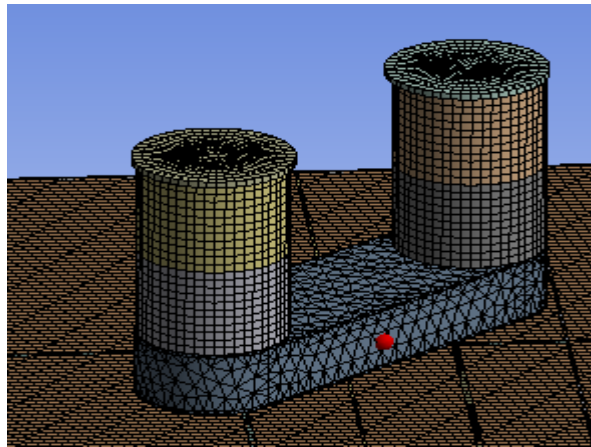
Kondisi	Ukuran (mm)	Nodes	Elemen	Tegangan (MPa)	Koreksi (%)
1	40	136208	26099	201.05	
2	35	145246	30011	202.82	-1%
3	30	157765	35945	204.43	-0.73708%
4	25	186593	47313	204.89	-0.21015%
5	24	191008	48623	205.19	-0.13687%
6	23	207364	54938	205.45	-0.11848%
7	22	216096	57641	205.15	-0.09105%
8	21	222756	60553	205.95	-0.13639%
9	20	237720	66842	206.05	-0.04544%



Gambar 4.95 Model elemen *meshing* struktur *bollard* belakang ukuran 22 mm

Berdasarkan Tabel 4.20 dan grafik pada Gambar 4.97 ukuran elemen *meshing* untuk struktur *bollard* bagian belakang FSO Ladinda yang paling efektif

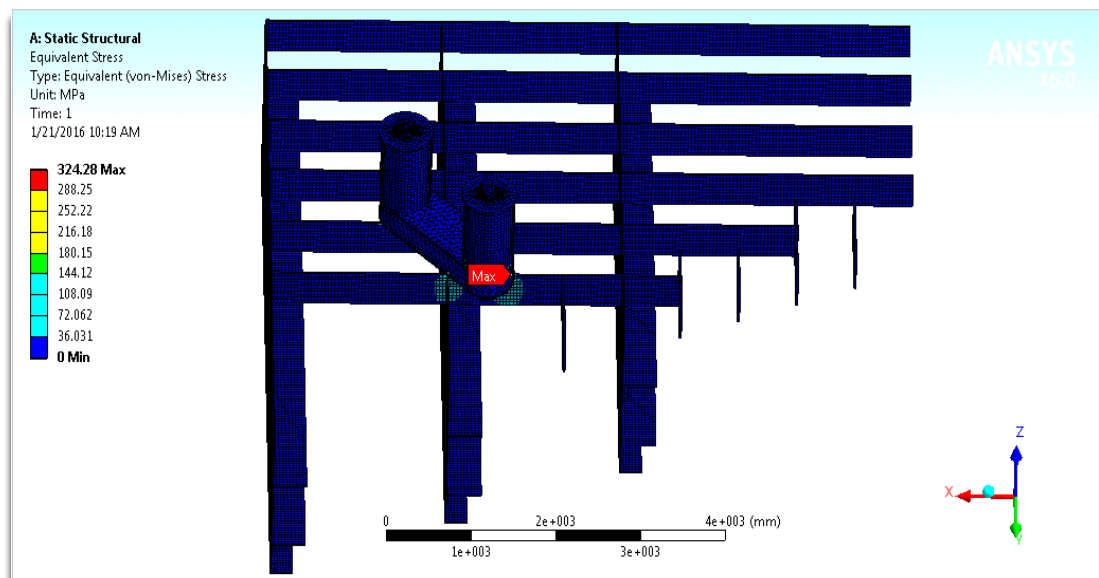
dimodelkan pada ukuran *meshing* 22 mm dan menghasilkan tegangan sebesar 205.15 MPa



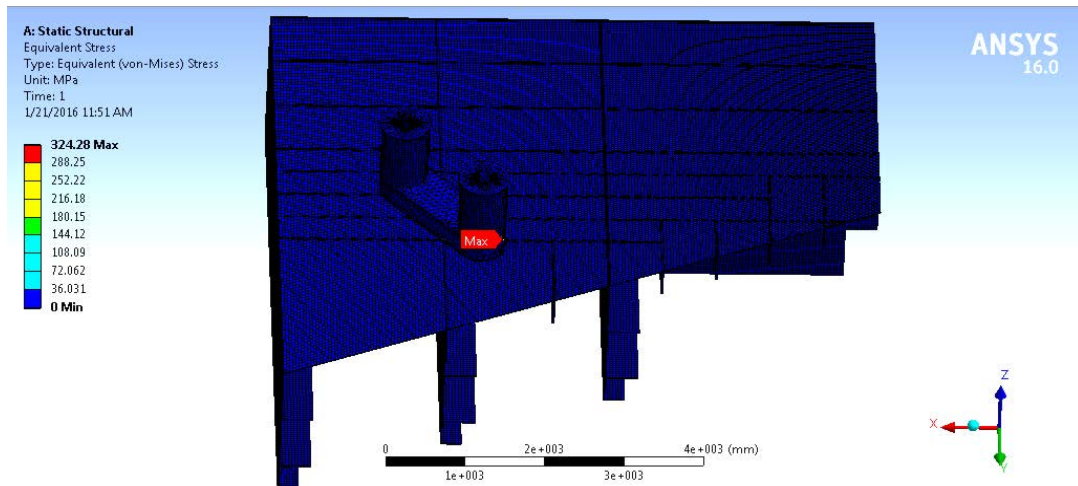
Gambar 4.96 Model elemen *meshing* struktur *bollard* belakang ukuran 22 mm

4.9 Analisa tegangan lokal konstruksi *Bollard*

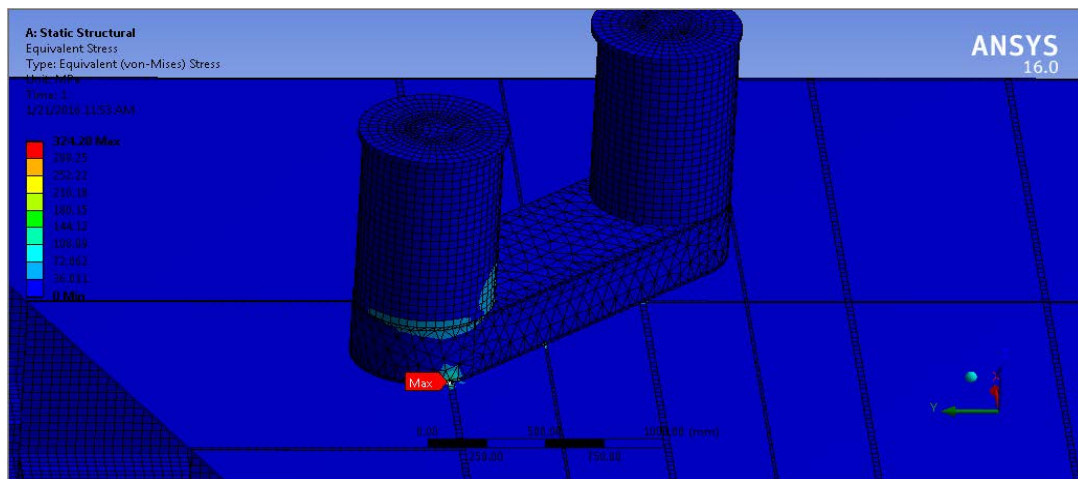
Gambar 4.99 sampai 4.103 di bawah ini adalah gambar hasil tegangan *Von Mises* dan deformasi maksimum untuk *bollard* bagian belakang sesuai data konstruksi yang ada.



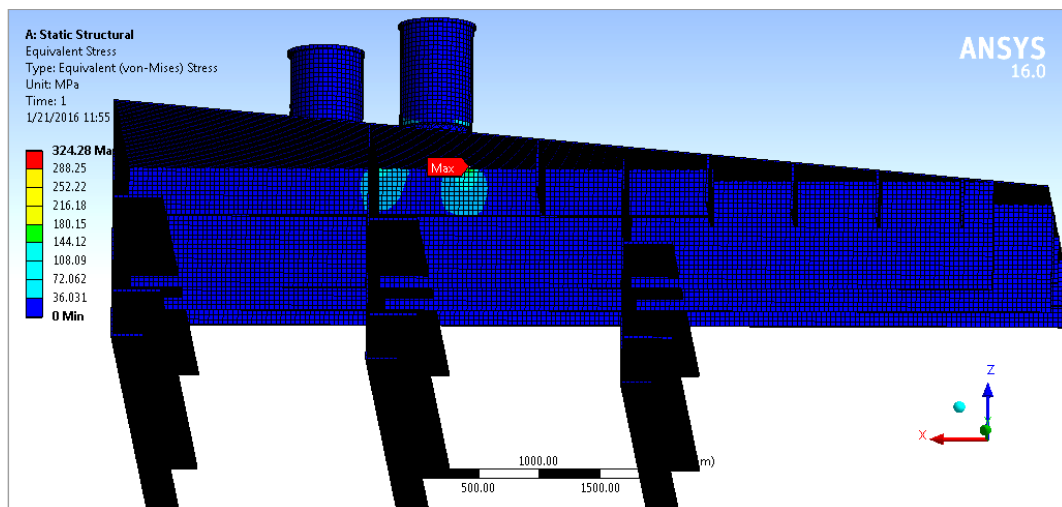
Gambar 4.97 Pemodelan konstruksi girder FSO Ladinda bagian belakang



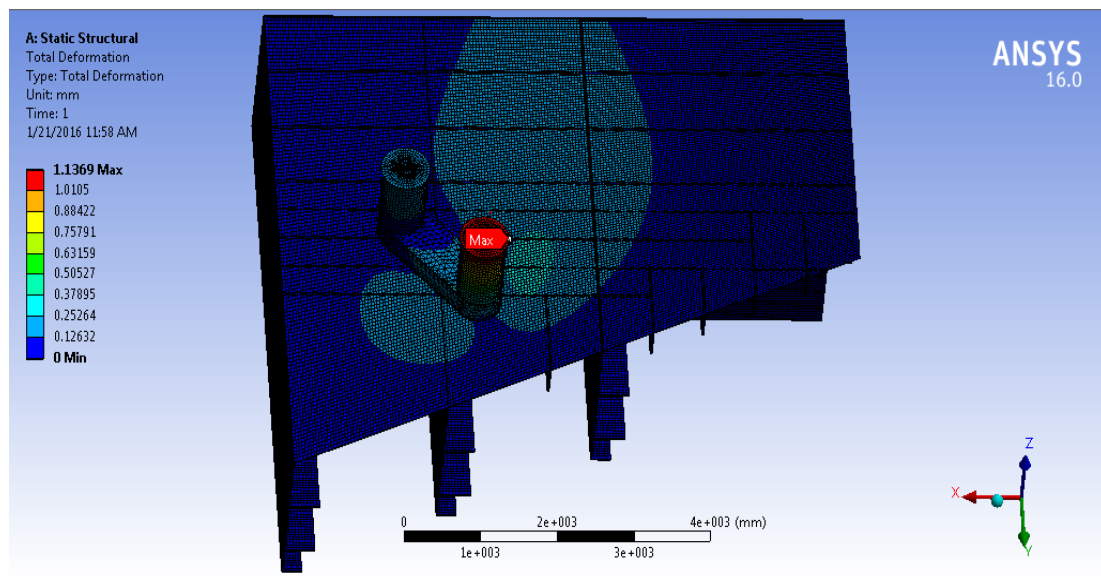
Gambar 4.98 Hasil *Stress* maksimum *Bollard* Bagian belakang



Gambar 4.99 *Stress* pada konstruksi dudukan *bollard*



Gambar 4.100 *Stress* pada konstruksi dudukan *bollard* tampak bagian bawah

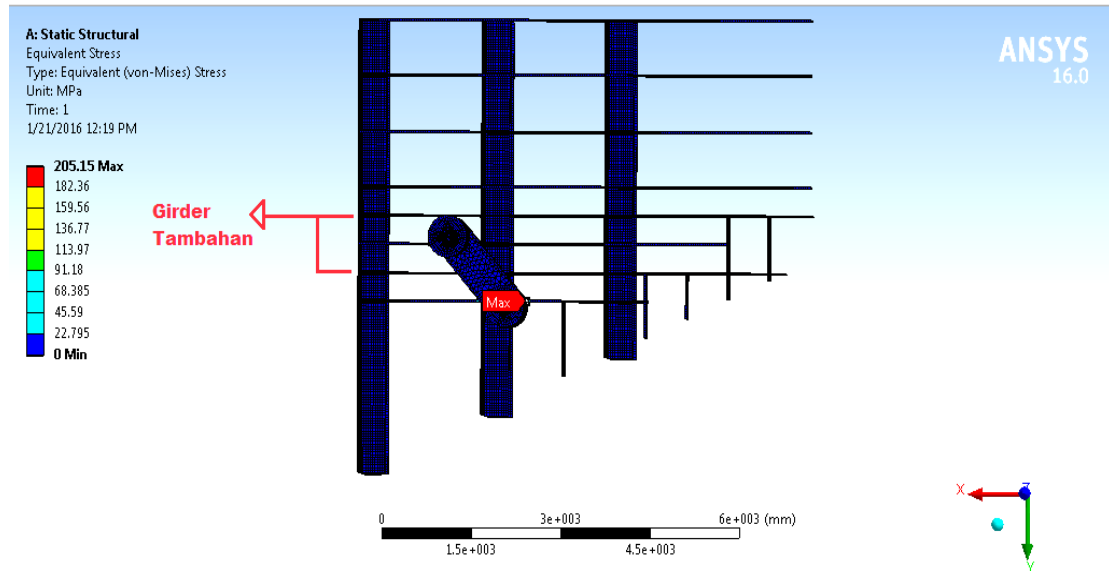


Gambar 4.101 Hasil deformasi maksimum *bollard* bagian belakang

Berdasarkan hasil *running* dari analisis *stress* dan deformasi pada *software* ANSYS *Mechanical* untuk *bollard* bagian belakang (Gambar 4.99 sampai Gambar 4.103), *stress* terbesar yang dihasilkan adalah sebesar 324.28 MPa pada bagian bawah *bollard*, yaitu kontak antara konstruksi dudukan *bollard* dengan pelat dudukan *bollard* diatas dan dibawahnya (Gambar 4.100). Sedangkan deformasi maksimum yang dihasilkan sebesar 1.1369 mm (Gambar 4.102) terjadi pada bagian atas *bollard* dan pelat *deck* tepatnyadibawah dudukan *bollard*. Menurut ABS “*Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*”(2001) struktur dikatakan aman jika tegangan yang terjadi tidak melebihi 90% dari *yield strength* material yang digunakan yaitu 225 MPa. Dari hasil analisis diatas, tegangan maksimum pada *bollard* bagian depan dan bagian belakang melebihi 225 MPa, sehingga bisa dikatakan tidak aman untuk beroperasi dalam kondisi tinggi gelombang 2 meter pada kondisi lingkungan selat Lalang.

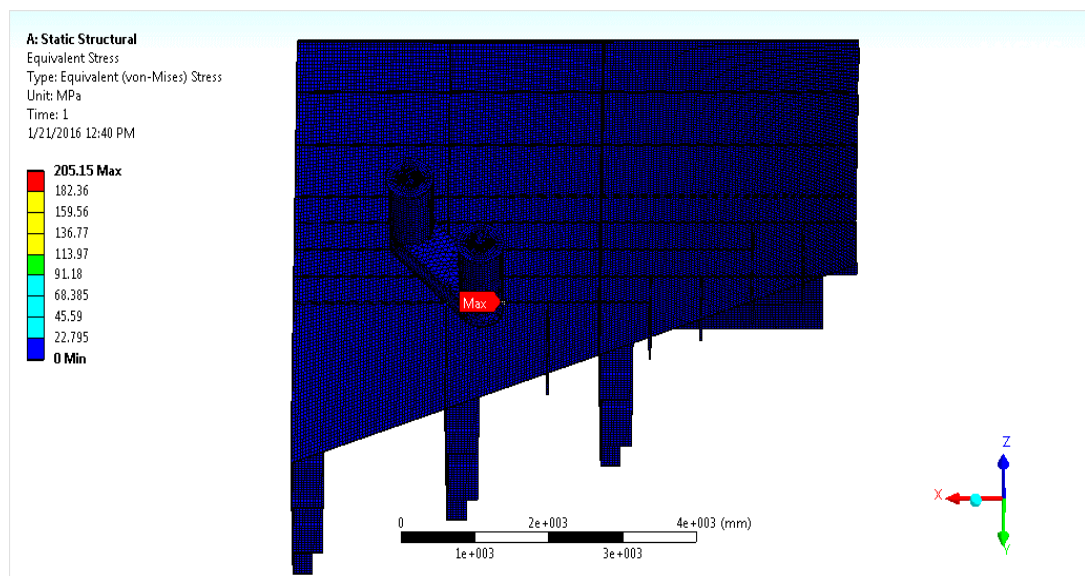
Pada tugas akhir ini dilakukan perubahan kontruksi bollard bagian belakang FSO Ladinda agar memenuhi safety factor yang mengacu pada ABS “*Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*”(2001) struktur dikatakan aman jika tegangan yang terjadi tidak melebihi 90% dari *yield strength* material yang digunakan yaitu 225 MPa. Maka dilakukan pemodelan ulang dengan

menambahkan *girder* sebagai penampang tambahan struktur *bollard* dan penebalan plat dudukan *bollard* menjadi 4 mm (Gambar 4.104).

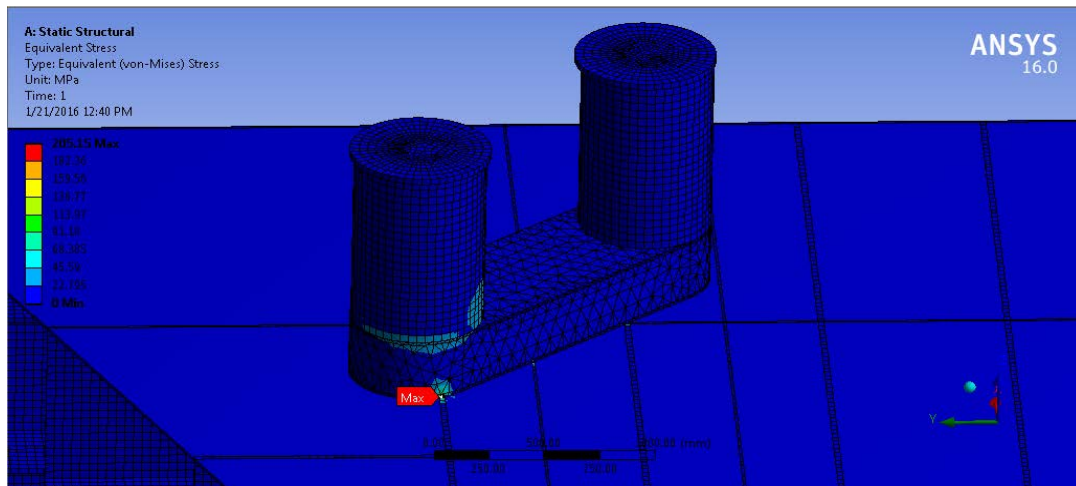


Gambar 4.102 Pemodelan konstruksi girder tambahan FSO Ladindabagian belakang

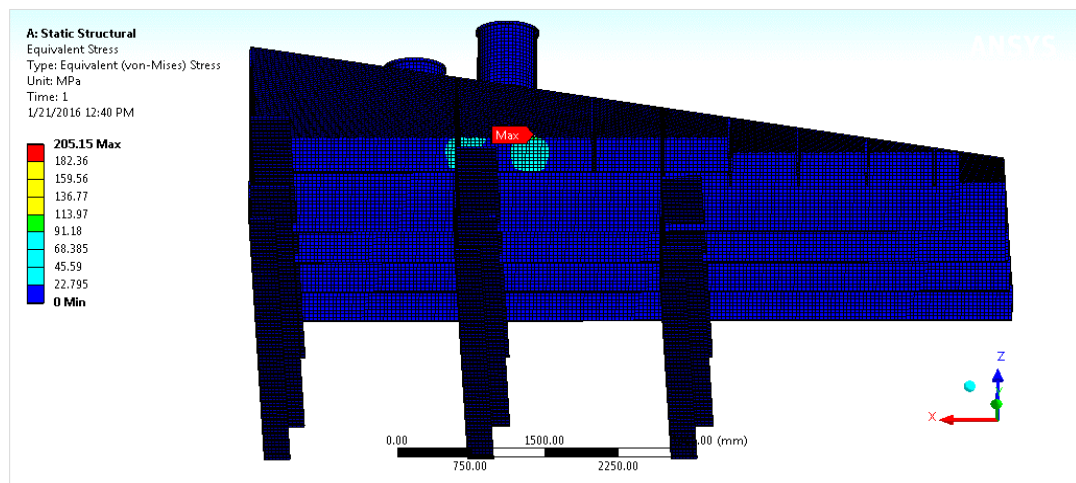
Gambar 4.105 sampai 4.108 di bawah ini adalah gambar hasil tegangan *Von Mises* dan deformasi maksimum untuk *bollard* bagian belakang dengan penambahan konstruksi *girder* dan penebalan plat dudukan *bollard*.



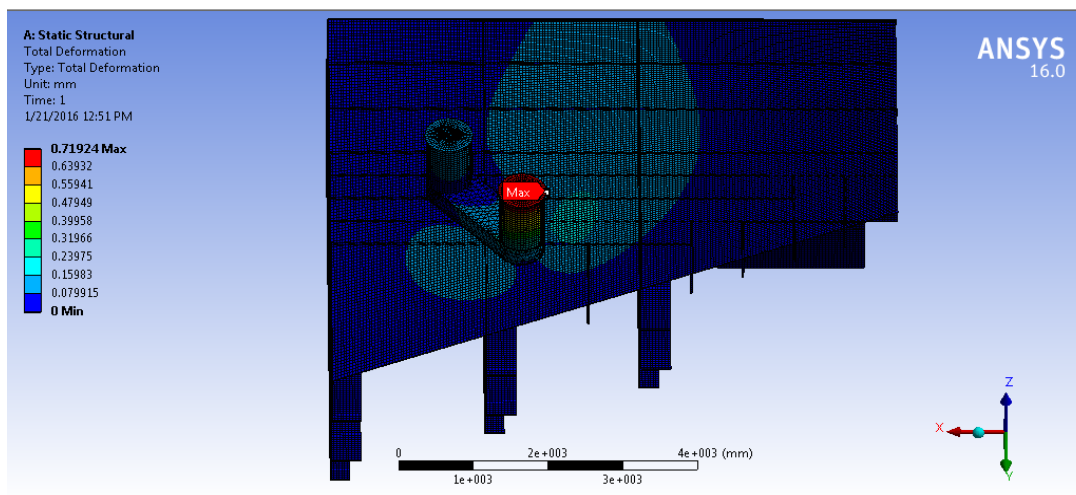
Gambar 4.103 Hasil *Stress* maksimum *Bollard* Bagian belakang



Gambar 4.104 Stress pada konstruksi dudukan *bollard*



Gambar 4.105 Stress pada konstruksi dudukan *bollard* tampak bagian bawah



Gambar 4.106 Hasil deformasi maksimum *bollard* bagian belakang

Berdasarkan hasil *running* penambahan struktur girder dan penebalan dudukan bollard bagian belakang FSO Ladinda didapatkan analisa *stress* dan deformasi pada *software* ANSYS *Mechanical* untuk *bollard* bagian belakang (Gambar 4.105 sampai Gambar 4.108), *stress* terbesar yang dihasilkan adalah sebesar 205.15 MPa pada bagian bawah *bollard*, yaitu kontak antara konstruksi dudukan *bollard* dengan pelat dudukan *bollard* diatas dan dibawahnya (Gambar 4.105). Sedangkan deformasi maksimum yang dihasilkan sebesar 0.71924 mm (Gambar 4.108) terjadi pada bagian atas *bollard* dan pelat *deck* tepatnyadibawah dudukan *bollard*. Dengan penambahan struktur girder dan penebalan plat dudukan bollard safetyMenurut ABS “*Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*” (2001) struktur dikatakan aman jika tegangan yang terjadi tidak melebihi 90% dari *yield strength* material yang digunakan yaitu 225 MPa. Dari hasil analisis diatas, tegangan maksimum pada *bollard* bagian belakang tidak melebihi225 MPa, sehingga bisa dikatakan aman untuk beroperasi dalam kondisi tinggi gelombang 2 meter.

Untuk batas deformasi yang diijinkan menurut ABS “*Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction*” (2001) adalah 6mm untuk bagian belakang (*aft*). Dari hasil analisis deformasi bagian belakang dan bagian belakang masih memiliki nilai lebih kecil dari batas yang diijinkan, sehingga struktur tersebut masih layak beroperasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Perilaku gerak FSO Ladindasaat kondisi *free floating* akibat adanya gelombang dapat dilihat dari nilai terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan *surge* terbesar 5.824 m/m, *sway* terbesar 6.655 m/m, *heave* terbesar 1.012 m/m, *roll* terbesar 5.199 deg/m, *pitch* terbesar 0.452 deg/m, *yaw* terbesar 2.177 deg/m. Hal ini menunjukkan FSO lebih stabil pada kondisi *full load*. Sedangkan perilaku gerak RAO pada Tanker MS Pacific Leoter terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan nilai *surge* 0.863 m/m, *sway* 1.761 m/m, *heave* 0.98 m/m, *roll* 4.862 °/m, *pitch* 0.738 °/m, dan *yaw* 0.616 m/m.
 Pada kondisi tertambat perilaku gerak FSO Ladind dapat dilihat dari nilai terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan *surge* terbesar 0.040 m/m, *sway* terbesar 0.077 m/m, *heave* terbesar 0.072 m/m, *roll* terbesar 1.592 deg/m, *pitch* terbesar 0.088 deg/m, *yaw* terbesar 0.487 deg/m. RAO tertambat dengan nilai yang sangat lebih kecil daripada RAO *free floating* menunjukkan bahwa sistem tambat telah mampu menahan gerakan FSO. Sedangkan perilaku gerak RAO Tanker MS Pacific Leoter terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan nilai *surge* 0.252 m/m, *sway* 0.661 m/m, *heave* 0.583 m/m, *roll* 2.176 °/m, *pitch* 0.968 °/m, *yaw* 1.958 m/m.
2. Hasil *tension hawser* terbesar yang menghubungkan antara FSO Ladind dengan Tanker MS Pacific Leoter dari hasil simulasi *tandem offloading process* terjadi pada *line 1* dengan arah pembebanan 45° pada *bollard* bagian belakang yang dianalisis berada yang memiliki nilai sebesar 864.656 kN sehingga dengan *tension* yang didapat dari hasil simulasi memenuhi *safety factor*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *hawser* dalam kondisi aman melakukan

kan proses *tandem offloading process* dengan beban lingkungan 100 tahunan.

3. Tegangan lokal yang dihasilkan untuk *bollard* bagian belakang sebesar 205.15 MPa dengan deformasi maksimum sebesar 0.71924 mm. Struktur dengan sistem ini masih dikatakan aman sesuai standar keamanan yang ditetapkan oleh ABS "*Safe hull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*" (2001) dan ABS "*Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction*" (2001) bahwa struktur masih aman beroperasi jika tegangan maksimumnya tidak melebihi 90% dari tegangan *yield* (225 MPa) dan defleksi maksimumnya tidak melebihi 6 mm.

5.2 Saran

Penerapan *tandem offloading process* pada konstruksi *bollard* FSO Ladi perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan merubah tipedan diameter *hawser* sehingga pada saat *tandem offloading process* tegangan yang terjadi menjadi lebih kecil terutama pada bagian konstruksi *bollard* bagian atas dan sambungan bawah.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS, 1996, *Rules for Building and Classing Single Point Moorings*, USA: American Bureau of Shipping.
- ABS, 2004, *Guide For Building and Classing Floating Production Installations*, USA: American Bureau of Shipping.
- ABS, 2010, *Rules For Testing And Certification Of Materials*, USA : American Bureau of Shipping.
- ABS, 2001, *Safehull-Dynamic Loading Approach' for Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) Installations*, USA: American Bureau of Shipping ABS Plaza.
- ABS, 2001, *Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction*, USA: American Bureau of Shipping ABS Plaza.
- API RP 2SK 3th edition, 2005, *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*, Washington DC.
- API RP 2A-WSD 21st Edition, 2000. *Recommended Practice for Planning, Design, and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*. USA.
- Athoillah, M., 2014. *Analisa Tegangan Lokal Dan Umur Kelelahan Konstruksi Bollard Pada FSO Ladinda Akibat Pengaruh Side By Side Offloading Process*, Surabaya: ITS.
- Bhattacharyya. R., 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- BKI Vol.II . 2009. *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships*. Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia.
- Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational
- Cho, et.al. 2010. *Ultimate Load Capacities Of Mooring Bollards And Hull Foundation Structures*. Elseiver, hal. 770-776.

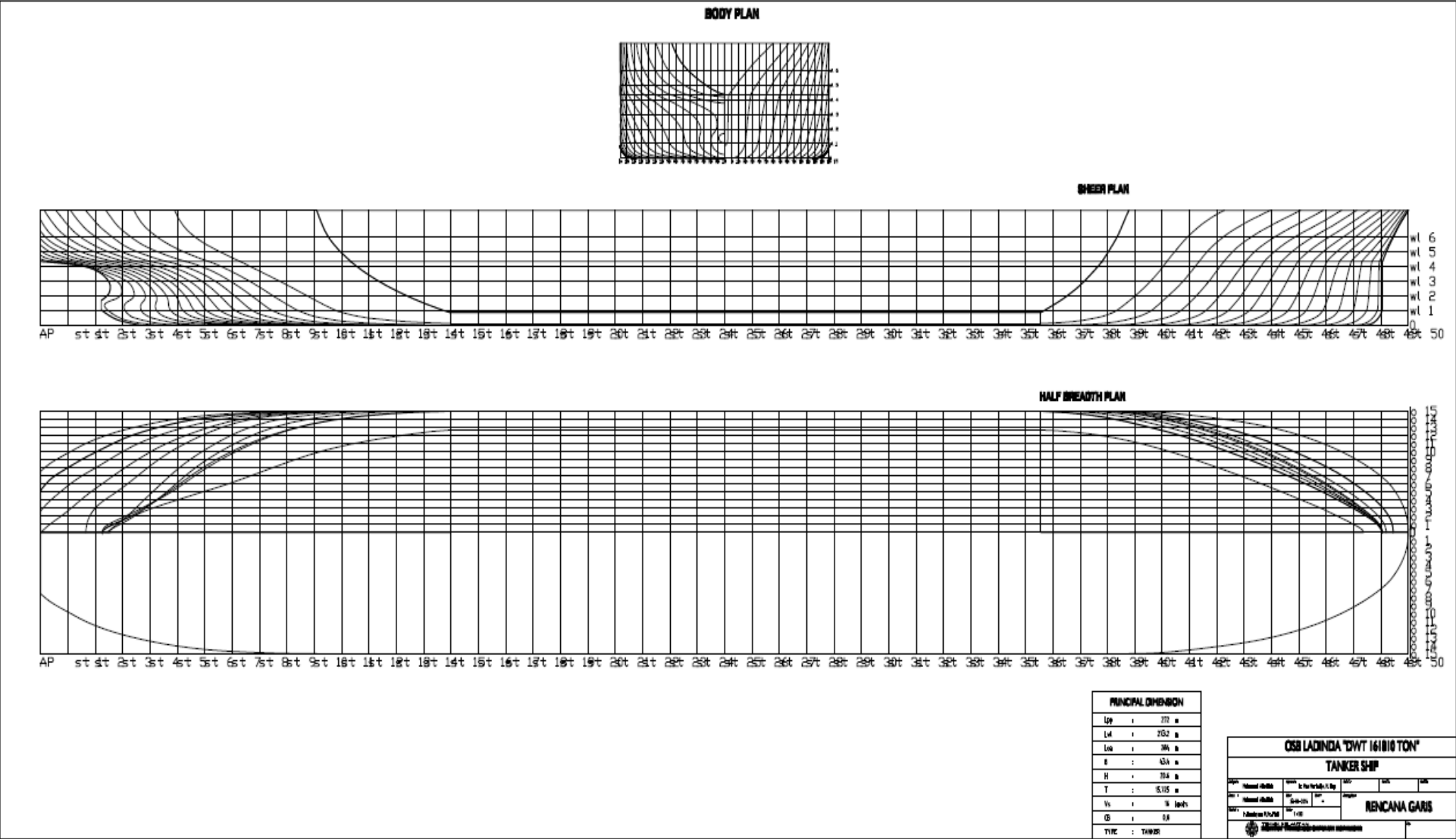
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV OS E301, 2004, *Position Mooring*, Det Norske Veritas, Norway.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures* . United Kingdom : Cambridge University Press.
- Indiyono, P. 2010. *Hidrodinamika Dasar Bangunan Laut*. Surabaya: ITS Press.
- Irawati. 2013. *Analisis Tegangan Lokal Konstruksi Windlass Pada Bow Fso Akibat Pengaruh Modifikasi Sistem Offloading*, Surabaya: ITS.
- Mentes, et.al. 2012. *Fuzzy decision support system for spread mooring system selection*. Elsevier, hal. 3283-3297.
- Murtedjo, Mas., 1999, *Handout Teori Bangunan Apung*, Surabaya: ITS.
- OCIMF 2nd Edition. 1997. *Mooring Equipment Guidelines*. England: Witherby & CO. LTD.
- Paik, et al. 2007. *Ship-Shaped Offshore Installations*. USA: Cambridge University Press.
- Pratiwi, H. I., 2013. *Analisis Kekuatan Struktur Sistem Tandem Fso Arco Ardjuna Pada Saat Offloading Dengan Shuttle Tanker 85000 DWT*, Surabaya: ITS.
- Popov, E. P., 1996, *Mekanika Teknik*, Jakarta: Erlangga
- PT Energi Mega Persada. 2014. *FSO Ladinda*. Jakarta.
- Ronney, P. D. (2014). *Basic of Mechanical Engineering*. California: University of Southern California.
- Wichers, J. 2013. *Guide to Single Point Moorings*. V.Mooring, Inc.: Netherlands.
- Yilmaz, O., dan Incecik, A., 1994, *Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms, Journal of Marine Structures*, Great Britain, UK.

LAMPIRAN A
DATA STRUKTUR FSO LADINDA DAN
TANKER MS PACIFIC LEO

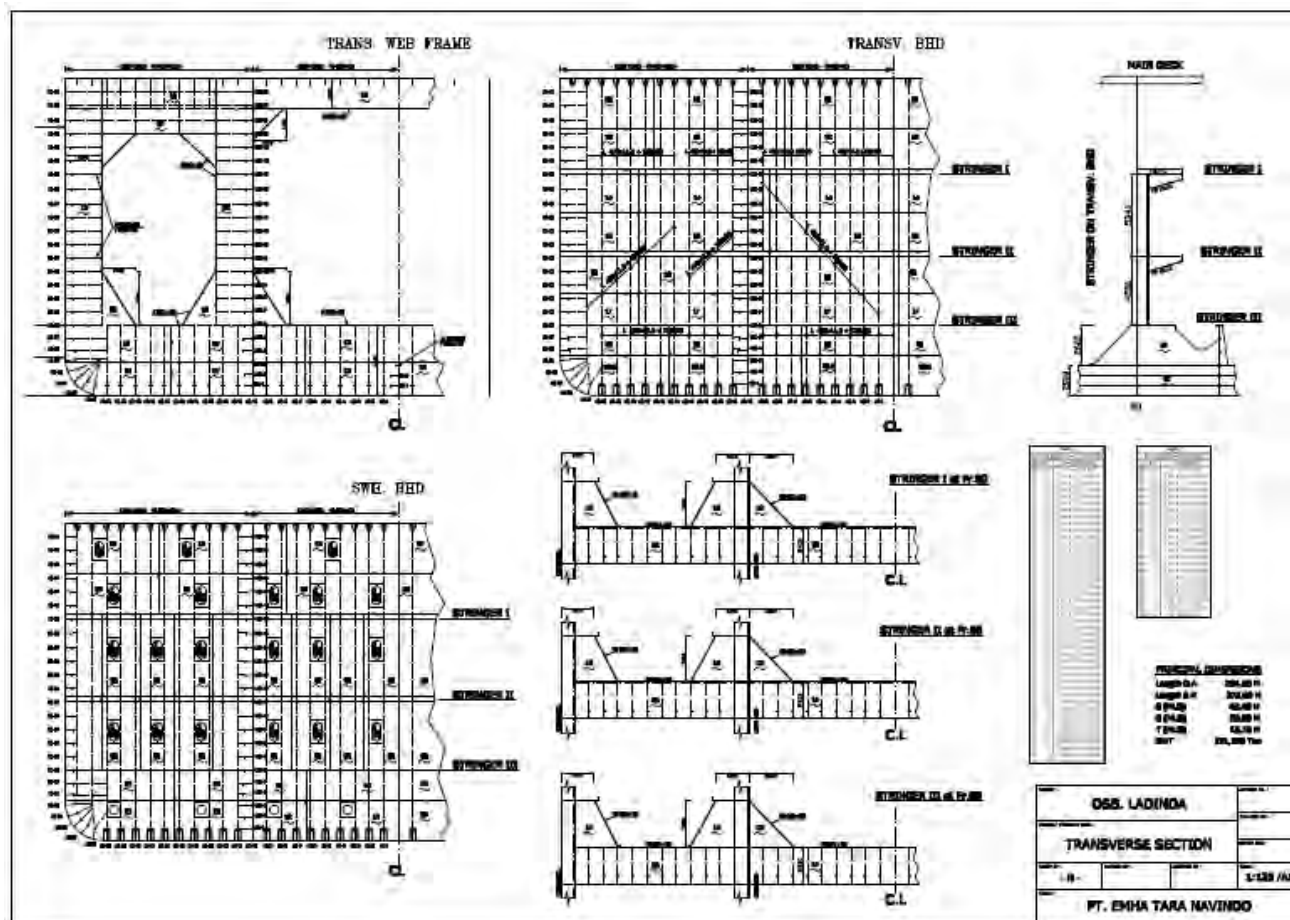
[illegible]

WEEKLY LABOR		
THERMAL CONSTRUCTION		
-R-		
BY: JOHN L. LAMBERT		

LINES PLAN FSO LADINDA

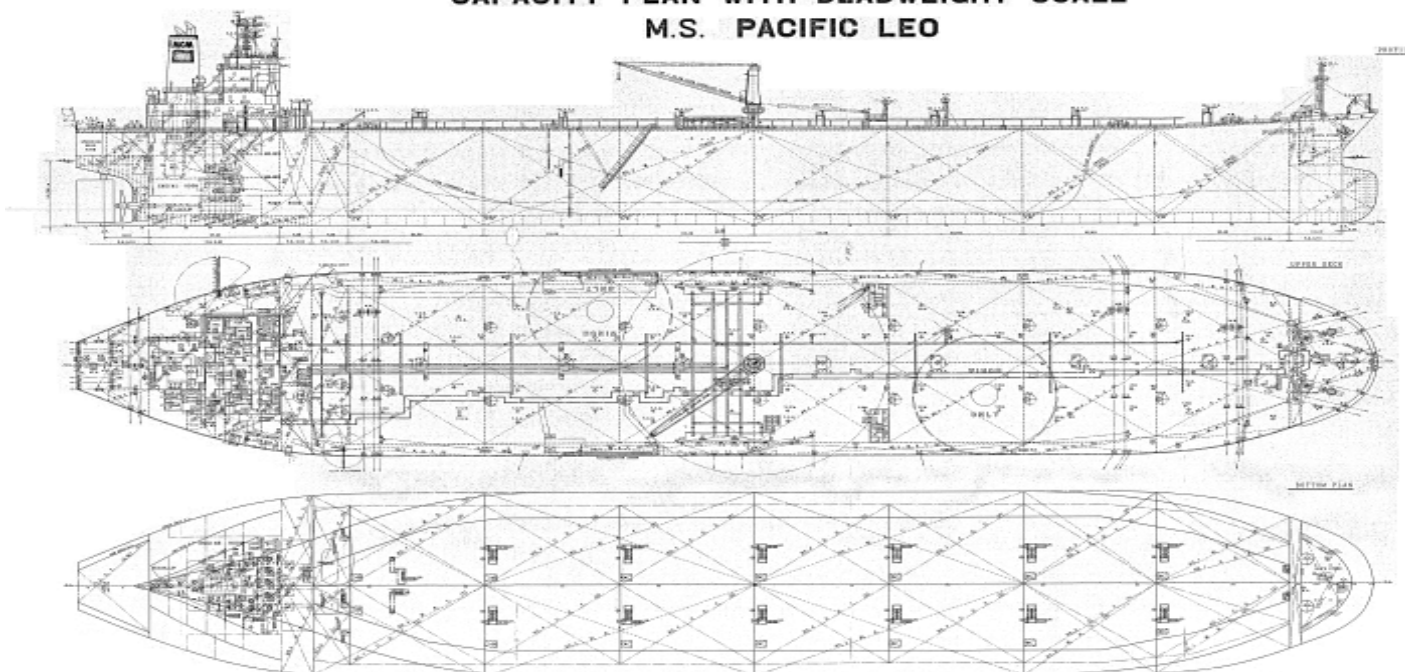


TRANSVERSE SECTION FSO LADINDA



GENERAL ARRANGEMENT TANKER MS PACIFIC LEO

CAPACITY PLAN WITH DEADWEIGHT SCALE
M.S. PACIFIC LEO



X-CARBON OIL TANK (H&B F&S)		Equivalent used (m ³ x 0.99910) x 5, bbl				
NAME	POSITION	FRAC	CAPACITY	BKG		m
				U, bbl	W, m	
NO.3 CARBON OIL T.	F	25-63	55566.143	43.117	93.25	15.88
	F	25-63	4060.000	32.481	68.25	11.42
NO.3 CARBON OIL T.	F	73-66	8777.153	69.207	86.41	22.87
	F	76-66	8762.163	55.118	69.34	15.15
NO.1 CARBON OIL T.	F	72-74	8851.884	68.175	80.71	18.85
	F	72-74	8851.884	54.071	67.71	14.45
NO.4 CARBON OIL T.	F	85-73	8900.423	56.133	18.25	15.85
	F	85-73	8900.423	56.381	18.25	15.85
NO.5 CARBON OIL T.	F	85-73	8900.423	56.381	18.25	15.85
	F	85-65	8900.423	56.381	18.25	15.85
NO.6 CARBON OIL T.	F	91-58	9091.183	68.856	52.72	15.85
	F	91-58	9091.183	52.72	15.85	15.85
NO.7 CARBON OIL T.	F	90-51	9090.868	50.125	58.76	12.47
	F	90-91	9084.718	52.938	57.85	12.47
NO.7 CARBON OIL T.	F	92-44	10752.568	11.739	14.38	15.88
	F	92-44	10752.568	14.38	15.88	15.88
NO.7 CARBON OIL T.	F	92-44	958.844	9.805	14.35	15.84
	F	92-44	117.768	741	-	-
PIPE LINE (H&B F&S)						

WATER BALANCE (1000 GALLS)					SEC 1, 000	
DATE	POSITION	CAPACITY	WBLQWT	SG	Q	W
	PRIME					
FORE PEAK TANK	1	2,250	2,250.00	-11.88	0.00	
NO. 1 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 2 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 3 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 4 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 5 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 6 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 7 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 8 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 9 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 10 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 11 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 12 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 13 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 14 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 15 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 16 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 17 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 18 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 19 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 20 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 21 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 22 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 23 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 24 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 25 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 26 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 27 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 28 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 29 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 30 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 31 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 32 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 33 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 34 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 35 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 36 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 37 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 38 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 39 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 40 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 41 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 42 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 43 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.17
NO. 44 W. B. T.	1	86.83	1708.54	2829.35	-94.58	0.1

4 FRESHWATER TANK (100% FULL)						SS : 1.000
NAME		POSITION	CAPACITY	WEIGHT	MS	KGS
		FRONT	m ³	MT	#	
DIST. WATER T.	F	1 - 12	173.24	173.24	113.37	19.13
DRINK. WATER T.	F	3 - 12	299.84	299.84	124.55	18.08
FRESH WATER T.	F	1 - 12	173.24	173.24	113.37	19.13
TOTAL			546.32	546.32		

[illegible]

4 LUBRICATING OIL TANK (CERN 194)					SG : 0.85	
NAME		POSITION	CAPACITY	WEIGHT	MS	SS
			m ³	MT	m	m
L. O. SUMP TANK	C	21- 30	21.99	21.99	97.16	1.98
S/F L.O. SUMP, Y.	F	14- 16	3.48	3.33	106.38	2.13
TOTAL			25.47	25.32		

9 OTHER TANK (LARGE FULL)					
NAME		POSITION	CAPACITY	SEC	KC
		FRONT	m ³	m	m
CLEAN BURN T.	P	21-26	21.86	89.04	1.53
T.O. OVERFLOW T.	S	28-34	58.44	94.36	1.53
BLIND BURNOUT T.	P	22-23	17.87	94.34	1.49
BLIND TANK	S	12-26	17.37	134.71	1.34
COY. COOL. W. T.	C	0-12	21.28	133.00	1.54

[illegible][illegible]

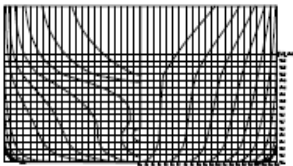
HISTORY

1997年12月
1998年1月

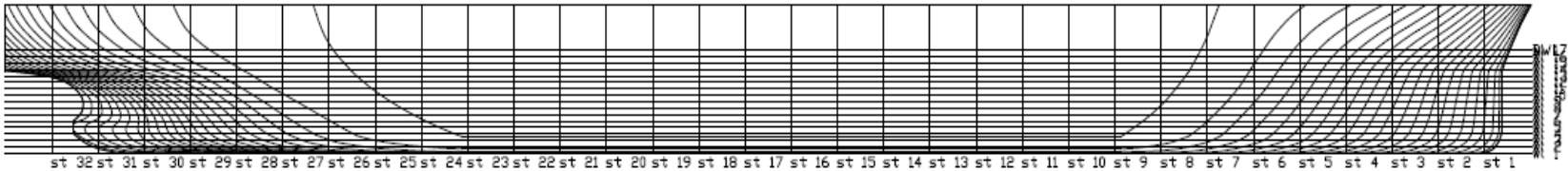
[illegible]

LINES PLAN TANKER MS. PACIFIC LEO

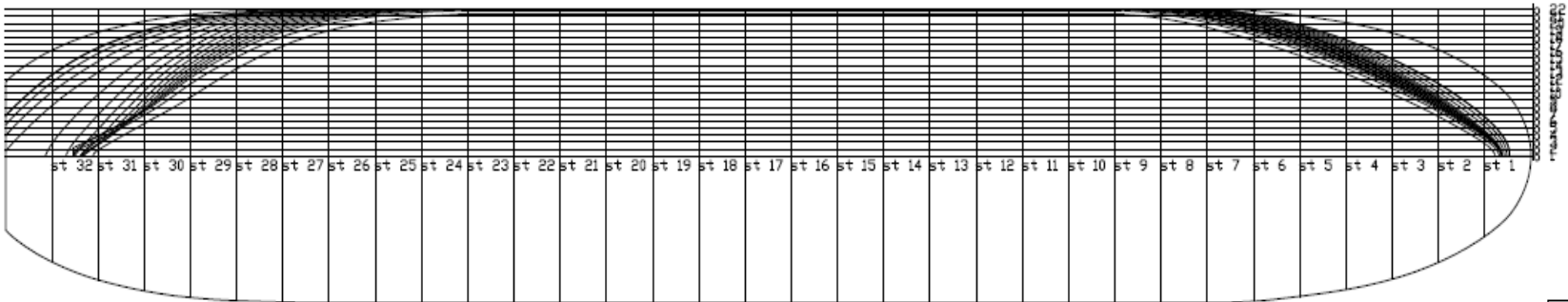
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF BREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSION	
LOA	113.3 m
LL	113.3 m
LB	113.3 m
B	16.0 m
H	4.52 m
T	5.90 m
VS	9.00 m
OS	0.8
TYPE : TANKER	

RENCANA GARIS	
NO. 1	21/00000
NO. 2	21/00000
NO. 3	21/00000
NO. 4	21/00000
NO. 5	21/00000
NO. 6	21/00000
NO. 7	21/00000
NO. 8	21/00000
NO. 9	21/00000
NO. 10	21/00000
NO. 11	21/00000
NO. 12	21/00000
NO. 13	21/00000
NO. 14	21/00000
NO. 15	21/00000
NO. 16	21/00000
NO. 17	21/00000
NO. 18	21/00000
NO. 19	21/00000
NO. 20	21/00000
NO. 21	21/00000
NO. 22	21/00000
NO. 23	21/00000
NO. 24	21/00000
NO. 25	21/00000
NO. 26	21/00000
NO. 27	21/00000
NO. 28	21/00000
NO. 29	21/00000
NO. 30	21/00000
NO. 31	21/00000
NO. 32	21/00000

LAMPIRAN B
OUTPUT SOFTWAREMAXSURF

HYDROSTATICS FSO LADINDA**Output Software Maxsurf**

Draft Amidsh. m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Displacement tonne	198170	185212	174927	162181	152077	139575	129695	117507	107942	96248
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Draft at AP m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Draft at LCF m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	282.829	282.075	281.533	280.894	280.388	279.777	279.322	278.798	272.583	267.113
WL Beam m	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400
Wetted Area m^2	19931.732	19248.468	18702.885	18022.908	17478.308	16795.689	16273.041	15556.769	14917.950	14189.234
Waterpl. Area m^2	11370.477	11274.850	11192.925	11083.510	10989.728	10857.732	10738.416	10554.013	10331.057	10123.725
Prismatic Coeff.	0.833	0.830	0.827	0.822	0.819	0.814	0.810	0.806	0.819	0.831
Block Coeff.	0.830	0.826	0.823	0.819	0.815	0.810	0.806	0.801	0.814	0.824
Midship Area Coeff.	0.996	0.996	0.996	0.995	0.995	0.995	0.994	0.994	0.993	0.993
Waterpl. Area Coeff.	0.926	0.921	0.916	0.909	0.903	0.894	0.886	0.872	0.873	0.873
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	1.056	1.276	1.502	1.850	2.182	2.665	3.101	3.666	4.072	4.421
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	-1.807	-2.365	-2.752	-3.077	-3.202	-3.147	-2.767	-1.820	0.155	1.981
KB m	9.890	9.294	8.816	8.220	7.742	7.146	6.670	6.076	5.606	5.026
KG m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMt m	8.478	8.964	9.394	9.992	10.531	11.291	11.977	12.954	13.829	15.200
BML m	345.394	360.917	374.427	392.952	409.241	430.991	449.665	472.162	481.691	508.645
GMt m	18.369	18.258	18.210	18.212	18.273	18.437	18.646	19.030	19.435	20.225
GML m	355.284	370.211	383.244	401.172	416.983	438.137	456.335	478.238	487.297	513.670
KMt m	18.369	18.258	18.210	18.212	18.273	18.437	18.646	19.030	19.435	20.225
KML m	355.284	370.211	383.244	401.172	416.983	438.137	456.335	478.238	487.297	513.670
Immersion (TPc) tonne/cm	116.570	115.590	114.750	113.628	112.667	111.313	110.090	108.200	105.914	103.788

MTc tonne.m	2507.155	2441.665	2387.265	2316.854	2258.142	2177.642	2107.534	2001.129	1873.071	1760.527
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	63528.441	59015.792	55593.115	51546.969	48499.044	44911.863	42205.671	39027.300	36613.382	33973.588
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	8.929	7.144	6.920	5.804	2.679	2.456	1.563	1.339	1.116	0.000
Displacement tonne	87037	68907	66662	55501	24701	22529	13938	11830	9745	0.0000
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	8.929	7.144	6.920	5.804	2.679	2.456	1.563	1.339	1.116	0.000
Draft at AP m	8.929	7.144	6.920	5.804	2.679	2.456	1.563	1.339	1.116	0.000
Draft at LCF m	8.929	7.144	6.920	5.804	2.679	2.456	1.563	1.339	1.116	0.000
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	265.568	264.170	264.139	264.385	265.800	265.383	263.371	262.728	261.989	253.744
WL Beam m	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	43.400	42.984	42.741	42.425	0.000
Wetted Area m^2	13648.080	12634.682	12512.120	11902.878	10184.938	10059.062	9523.811	9370.407	9203.205	0.000
Waterpl. Area m^2	9998.304	9812.385	9793.719	9708.337	9501.146	9473.682	9257.160	9164.027	9049.434	0.000
Prismatic Coeff.	0.832	0.829	0.828	0.823	0.801	0.800	0.796	0.795	0.793	0.000
Block Coeff.	0.825	0.821	0.820	0.813	0.780	0.777	0.769	0.767	0.766	0.000
Midship Area Coeff.	0.992	0.990	0.990	0.988	0.973	0.971	0.965	0.965	0.966	0.000
Waterpl. Area Coeff.	0.867	0.856	0.854	0.846	0.824	0.823	0.818	0.816	0.814	0.000
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	4.623	4.884	4.908	5.016	5.635	5.739	6.374	6.619	6.925	-135.411
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	2.960	4.119	4.205	4.505	4.526	4.576	4.929	5.086	5.300	-135.411
KB m	4.566	3.652	3.538	2.970	1.379	1.265	0.805	0.690	0.574	0.000
KG m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMt m	16.577	20.422	21.047	24.915	53.556	58.447	90.007	103.696	122.389	0.000
BML m	542.494	650.606	669.165	786.097	1683.895	1832.754	2831.723	3276.554	3890.135	0.000
GMt m	21.142	24.074	24.586	27.885	54.936	59.711	90.812	104.386	122.963	0.000
GML m	547.060	654.258	672.704	789.067	1685.274	1834.018	2832.528	3277.243	3890.710	0.000
KMt m	21.142	24.074	24.586	27.885	54.936	59.711	90.812	104.386	122.963	0.000
KML m	547.060	654.258	672.704	789.067	1685.274	1834.018	2832.528	3277.243	3890.710	0.000
Immersion (TPc) tonne/cm	102.503	100.597	100.405	99.530	97.406	97.124	94.904	93.950	92.775	0.000

MTc tonne.m	1695.527	1605.378	1596.878	1559.491	1482.353	1471.364	1405.870	1380.533	1350.139	0.000
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	32115.291	28951.000	28603.293	27010.398	23682.222	23478.039				0.000
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0

HYDROSTATICS Tanker MS Pacific Leo

Output Software Maxsurf

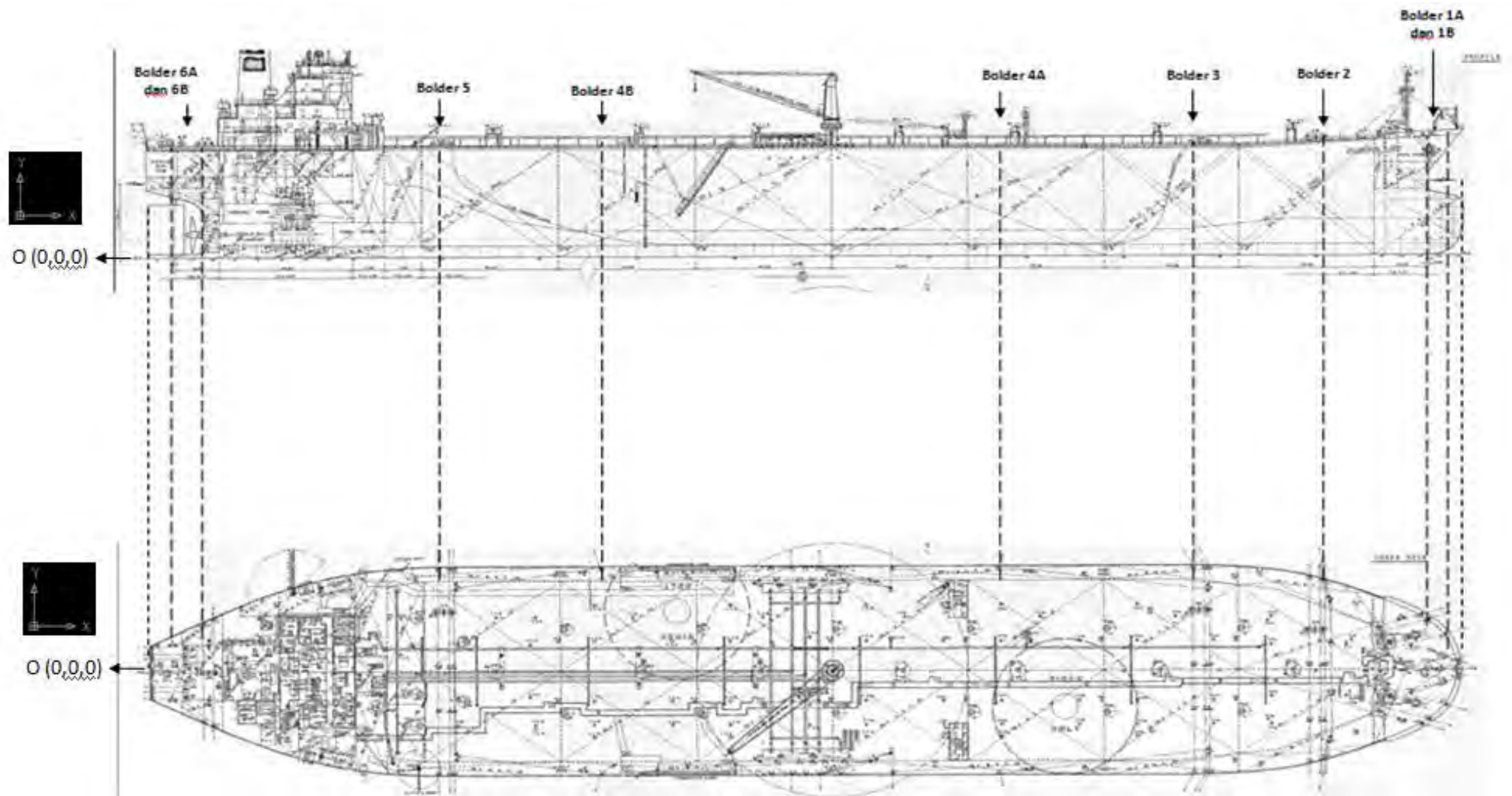
Draft Amidsh. m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Displacement tonne	166040	155190	146579	135909	127451	116987	108717	98519	90546	80777
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Draft at AP m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Draft at LCF m	18.975	17.859	16.966	15.850	14.957	13.841	12.948	11.831	10.939	9.822
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	245.390	244.791	244.358	243.824	243.403	242.906	242.537	242.102	234.781	231.658
WL Beam m	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000
Wetted Area m^2	16988.861	16396.330	15923.764	15334.490	14864.213	14271.367	13821.012	13191.036	12624.692	12021.873
Waterpl. Area m^2	9521.596	9440.421	9370.376	9277.688	9199.040	9086.320	8987.097	8817.762	8615.371	8466.470
Prismatic Coeff.	0.831	0.828	0.825	0.821	0.817	0.812	0.809	0.804	0.824	0.831
Block Coeff.	0.828	0.824	0.821	0.817	0.813	0.808	0.804	0.799	0.819	0.824
Midship Area Coeff.	0.996	0.996	0.996	0.995	0.995	0.995	0.994	0.994	0.993	0.992
Waterpl. Area Coeff.	0.924	0.918	0.913	0.906	0.900	0.891	0.882	0.867	0.874	0.870
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	1.336	1.553	1.769	2.092	2.396	2.830	3.216	3.706	4.007	4.260
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	-1.554	-1.988	-2.236	-2.442	-2.505	-2.383	-1.955	-0.869	1.196	2.485
KB m	9.883	9.286	8.809	8.212	7.735	7.139	6.663	6.070	5.602	5.024
KG m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMt m	7.922	8.375	8.774	9.333	9.836	10.544	11.182	12.081	12.895	14.189
BML m	258.696	270.210	280.203	293.926	306.065	322.045	336.085	350.875	355.360	378.507
GMt m	17.805	17.662	17.583	17.545	17.571	17.682	17.844	18.151	18.497	19.213
GML m	268.579	279.496	289.012	302.138	313.800	329.184	342.747	356.945	360.962	383.531
KMt m	17.805	17.662	17.583	17.545	17.571	17.682	17.844	18.151	18.497	19.213

KML m	268.579	279.496	289.012	302.138	313.800	329.184	342.747	356.945	360.962	383.531
Immersion (TPc) tonne/cm	97.615	96.783	96.065	95.115	94.309	93.153	92.136	90.400	88.325	86.798
MTc tonne.m	1832.694	1782.560	1740.976	1687.557	1643.623	1582.638	1531.350	1445.194	1343.191	1273.187
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	51596.128	47835.351	44979.895	41615.045	39083.641	36102.214	33857.521	31208.023	29229.696	27085.373
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

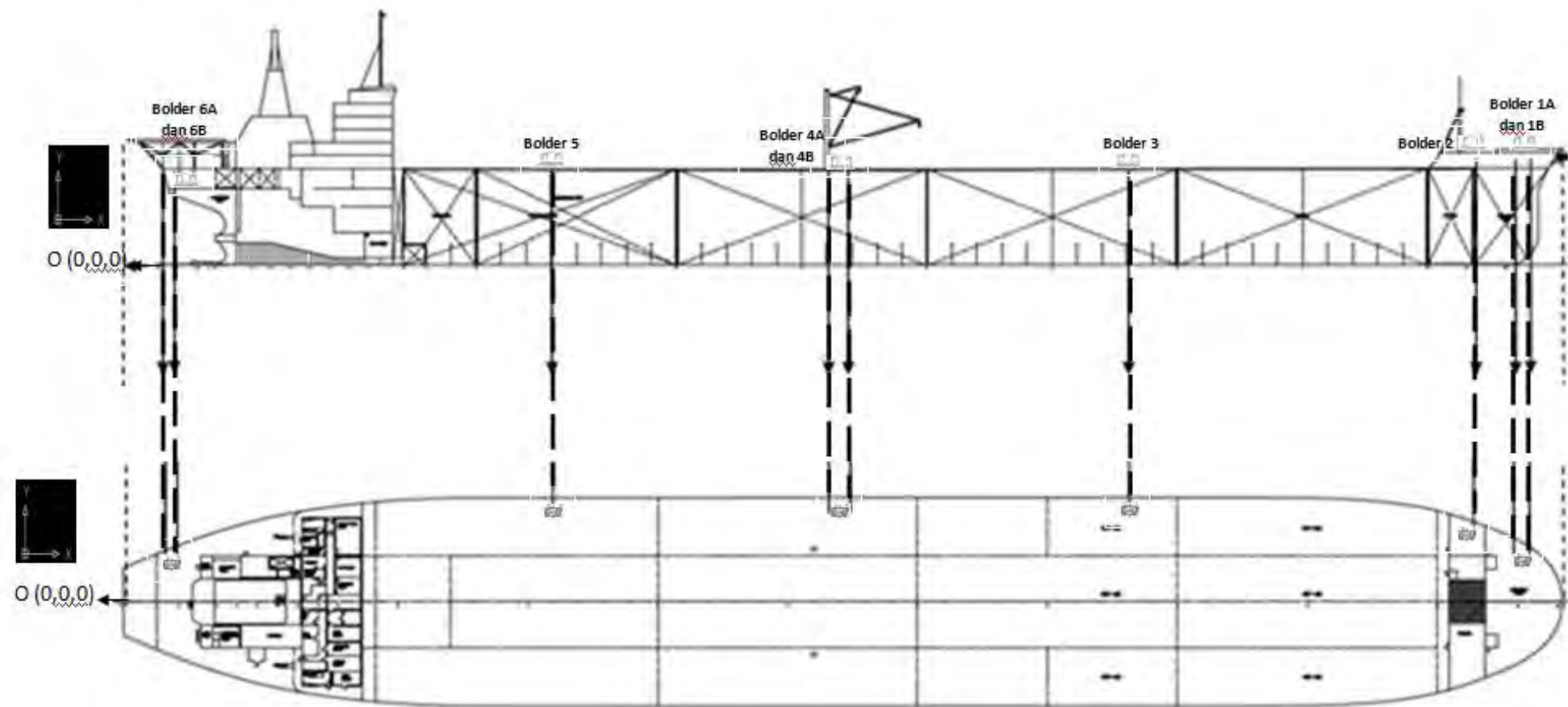
Draft Amidsh. m	8.929	7.813	6.920	5.804	4.911	3.795	2.902	1.786	0.000
Displacement tonne	73067	63535	55979	46609	39167	29915	22560	13480	0.0000
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	8.929	7.813	6.920	5.804	4.911	3.795	2.902	1.786	0.000
Draft at AP m	8.929	7.813	6.920	5.804	4.911	3.795	2.902	1.786	0.000
Draft at LCF m	8.929	7.813	6.920	5.804	4.911	3.795	2.902	1.786	0.000
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	230.489	229.670	229.532	229.838	230.730	231.131	231.096	229.227	220.490
WL Beam m	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	41.729	0.000
Wetted Area m^2	11566.128	11021.356	10596.699	10069.735	9647.363	9111.856	8686.732	8128.267	0.000
Waterpl. Area m^2	8374.492	8282.388	8220.466	8152.341	8105.769	8059.148	8002.478	7831.591	0.000
Prismatic Coeff.	0.831	0.830	0.827	0.822	0.815	0.808	0.802	0.797	0.000
Block Coeff.	0.824	0.822	0.818	0.811	0.803	0.792	0.781	0.770	0.000
Midship Area Coeff.	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.980	0.974	0.966	0.000
Waterpl. Area Coeff.	0.865	0.859	0.853	0.845	0.836	0.830	0.824	0.819	0.000
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	4.408	4.545	4.627	4.715	4.784	4.952	5.200	5.765	-116.665
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	3.181	3.761	4.063	4.289	4.325	4.173	4.233	4.548	-116.665
KB m	4.565	3.994	3.539	2.971	2.518	1.950	1.494	0.920	0.000
KG m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMt m	15.485	17.542	19.681	23.306	27.408	35.367	46.289	74.268	0.000
BML m	405.583	452.502	503.556	592.303	695.879	901.407	1175.626	1879.811	0.000
GMt m	20.050	21.535	23.219	26.277	29.926	37.317	47.783	75.188	0.000
GML m	410.148	456.496	507.095	595.274	698.397	903.356	1177.120	1880.731	0.000

[illegible]

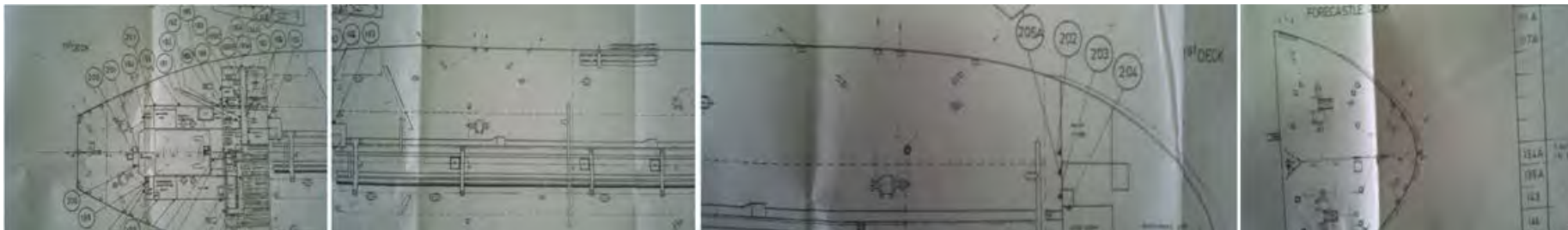
KOORDINAT BOLDER TANKER MS. PACIFIC LEO



KOORDINAT BOLDER FSO LADINDA



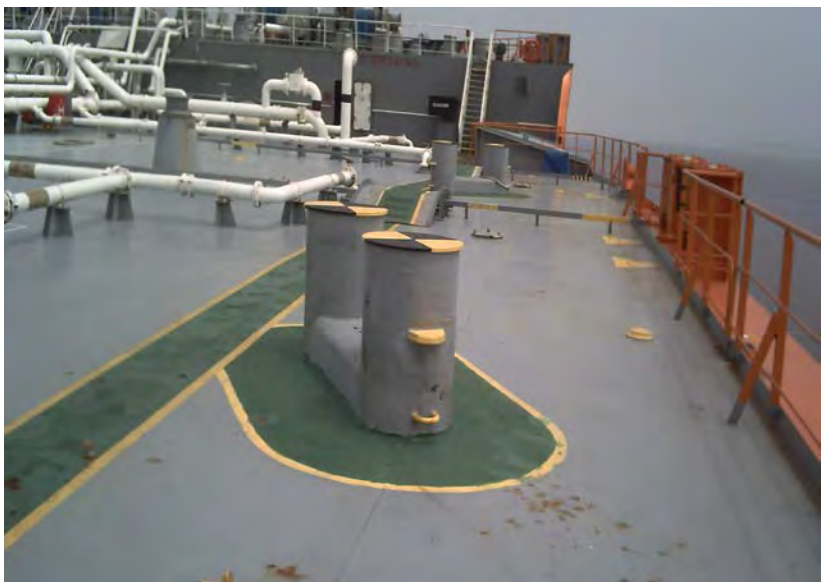
KONSTRUKSI BOLDER DI FSO LADINDA



(a)



(b)

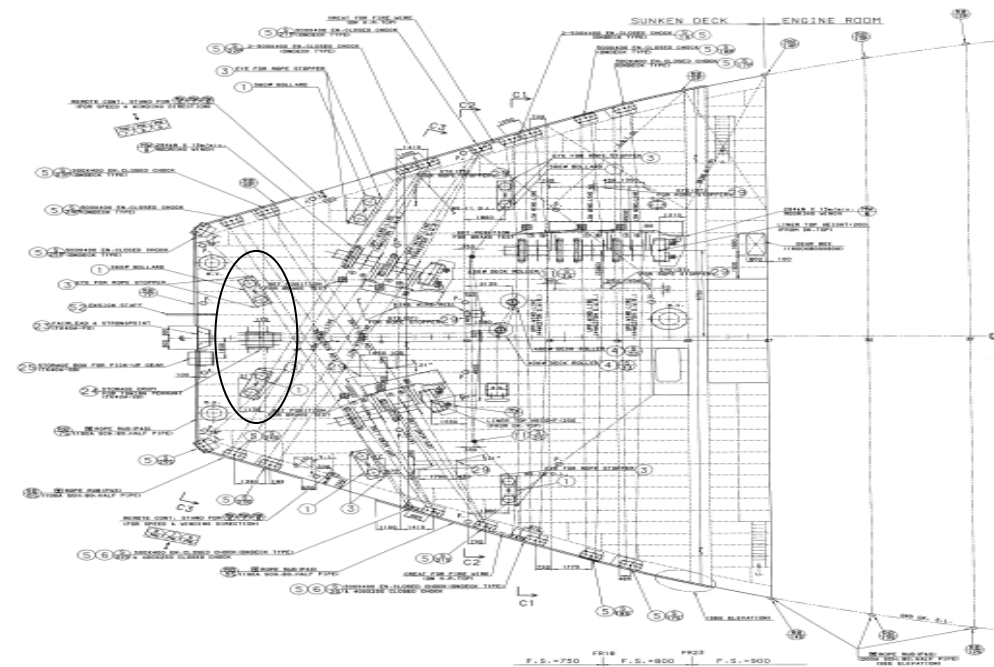


(c)

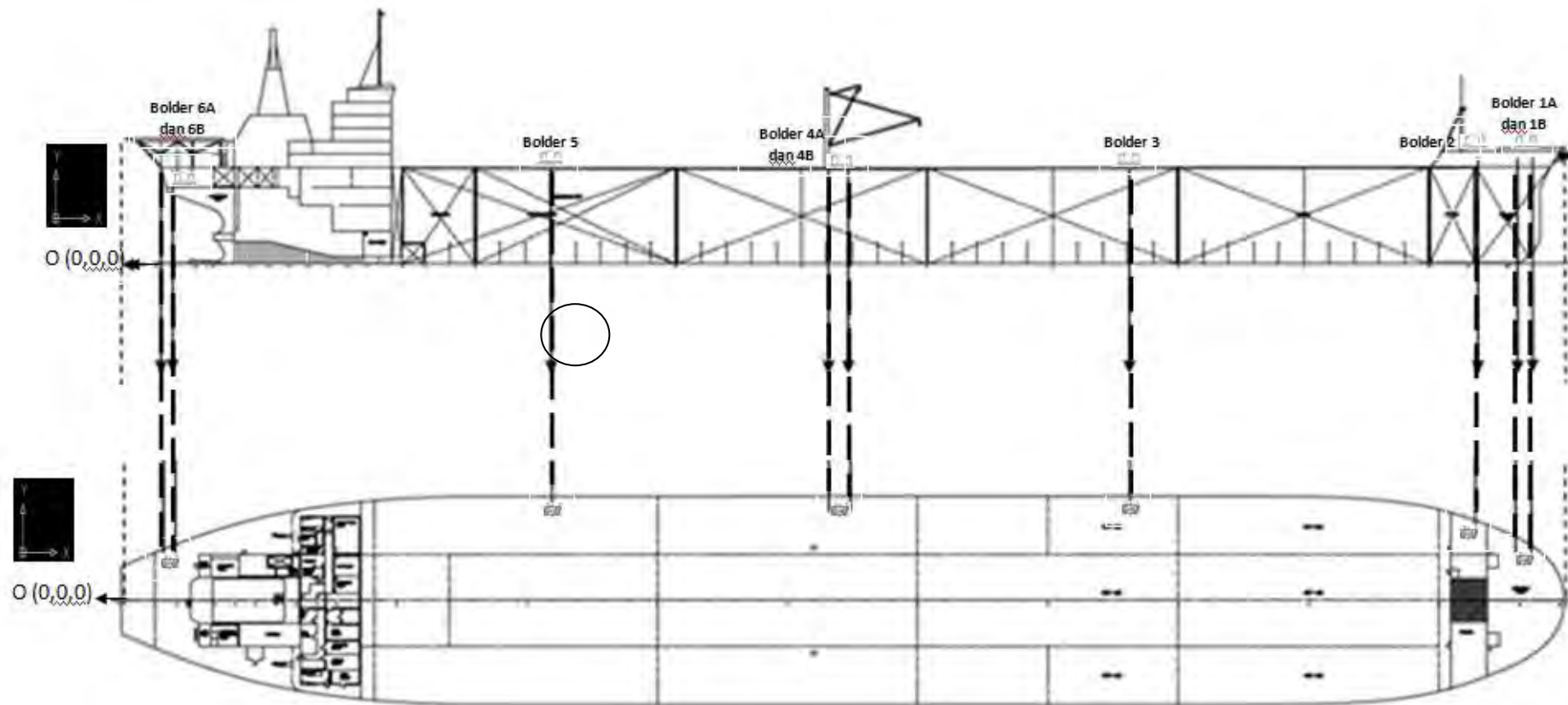


(d)

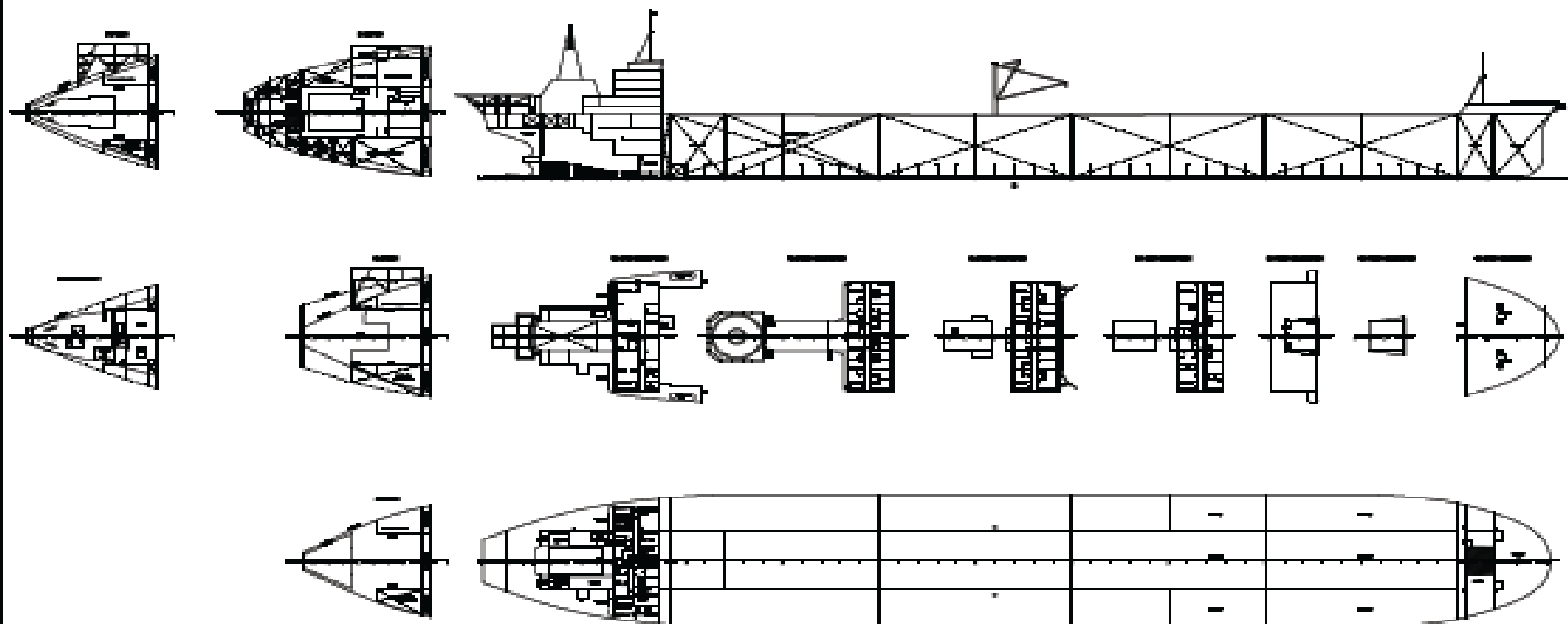
Gambar 3.15 (a)(b)(c)(d) Gambar Posisi bolder di FSO Ladinda



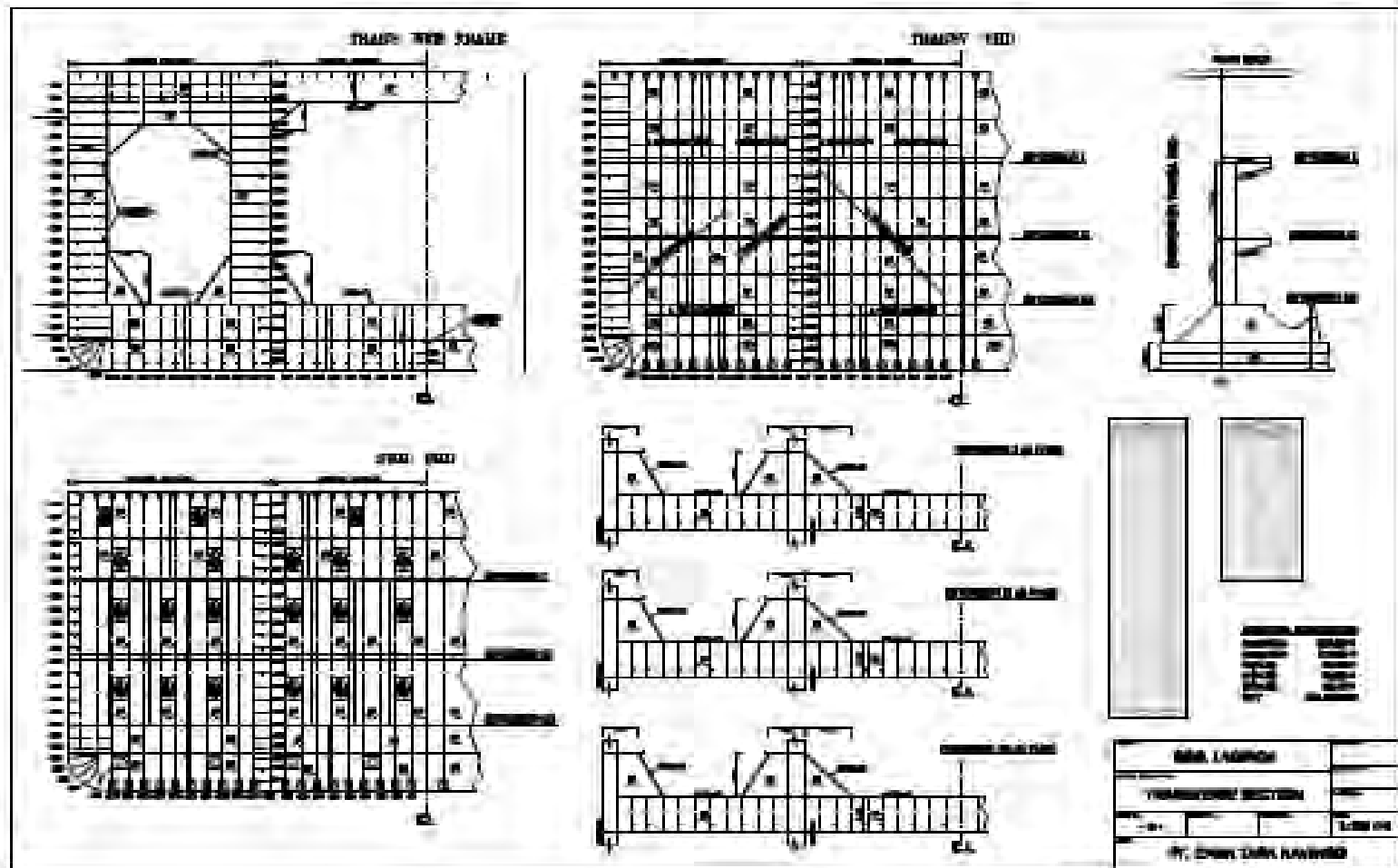
Koordinat bolder di FSO Ladinda

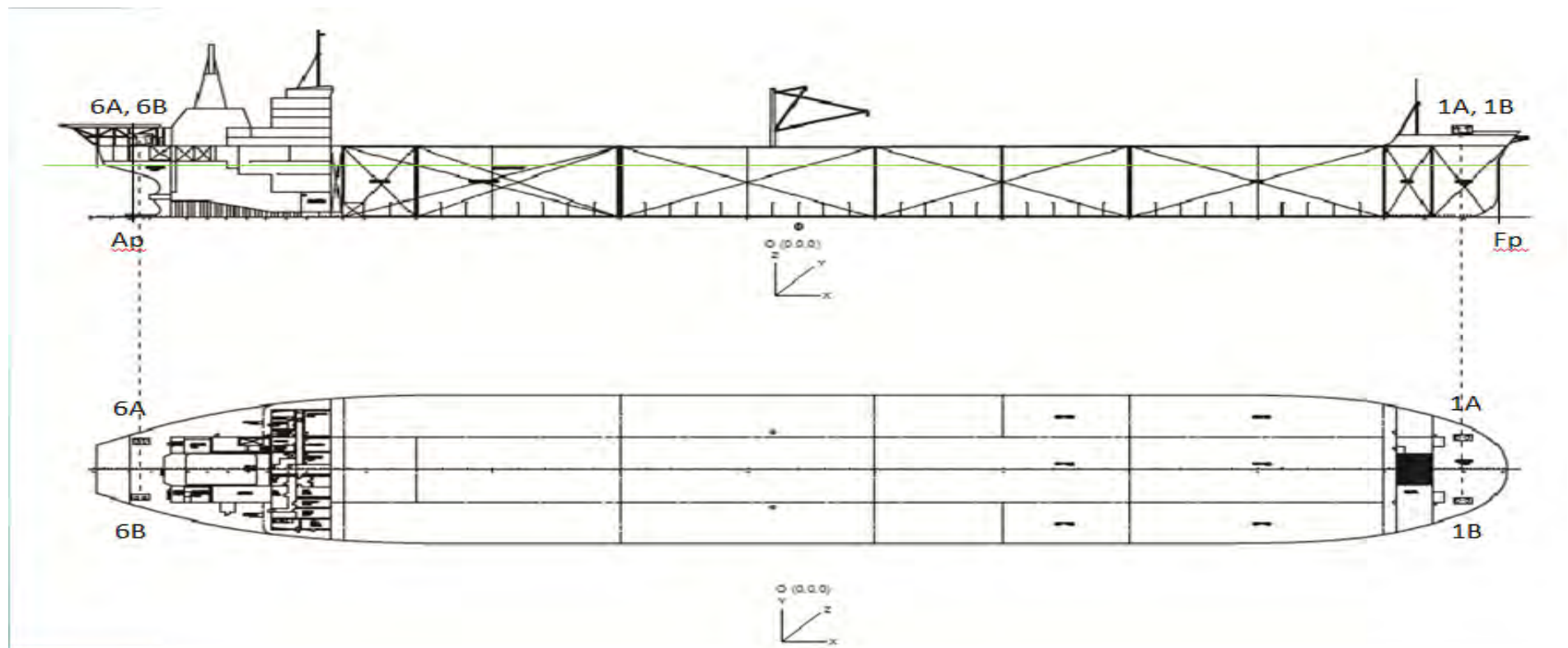


Koordinat	X	Y	Z
Bolder 6A	5.6 m	11.624 m	20.6 m
Bolder 6B	4.3 m	13.02 m	20.6 m



Ship Name	
Ship Number	
Ship Type	
Ship Class	
Ship Status	





Koordinat	X	Y	Z
<i>Bollard 1A</i>	134 m	8.68 m	22.6 m
<i>Bollard 1B</i>	134 m	8.68 m	22.6 m

BIODATA PENULIS



Rahmat Nopian, lahir di Mataram–Nusa Tenggara Barat pada 6 November 1991 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Ir. Ilham Sabil dan Mawarni. Penulis mengawali pendidikan formalnya di SDN 07 Mataram, kemudian melanjutkan ke SMPN 02 Kota Bima, dan menyelesaikan pendidikan tingkat Menengah Atas di SMAN 1 Mataram. Penulis menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS– Surabaya dengan NRP 4310100029. Selama masa perkuliahan penulis aktif di bidang akademik dan non akademik. Penulis pernah menjabat sebagai *head of event department society petroleum engineer ITS student chapter* pada tahun 2013-2014. Dalam pengalaman di bidang pekerjaan penulis telah menempuh kerja praktek selama satu bulan di PT. Newmont Nusa Tenggara pada bagian *Marine Environment* kemudian dilanjutkan dengan kerja praktek di PT. Saipem Indonesia pada bidang *Naval Engineer* selama dua bulan masa kerja. Penulis dapat dihubungi melalui email [novianrahmat\[at\]rocketmail.com](mailto:novianrahmat@rocketmail.com).